



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb

**Rekonstrukce a sanace jezdeckých kasáren
v Mostě**

Reconstruction and rehabilitation of the equestrian barracks
in Most

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. Tomáš Plattg

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. Michal Procházka, Ph.D.

SUPERVISOR

PRAHA 2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Plattig Jméno: Tomáš Osobní číslo: 397152
Zadávající katedra: Technologie staveb
Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství
Studijní obor: (3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Rekonstrukce a sanace jezdeckých kasáren v Mostě
Název diplomové práce anglicky: Reconstruction and rehabilitation of the equestrian barracks in Most

Pokyny pro vypracování:

- 1) Provést stavebně technický průzkum objektu z hlediska stavu a typů stavebních konstrukcí
- 2) Zpracovat rešerši na téma sanací vlhkých konstrukcí
- 3) Navrhnout či namodelovat příčinu a variantu odstranění problému
- 4) Vypracovat technologický postup rekonstrukce či sanace zvoleného technického problému
- 5) Zhodnotit vhodnost zvolených postupů sanací a oprav z hlediska památkové péče

Seznam doporučené literatury:

Odstraňování vlhkosti - Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

Odvodnění domu-Anglické dvorky, drenáže, vzduchové dutiny. - Ing. Michael Balík, CSc., Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

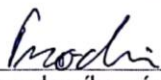
Sanace zavhlého zdiva budov-Jaroslav Lebeda a kolektiv

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Procházka, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 26.2..2019

Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

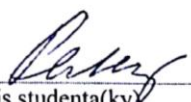

Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

26.2.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 28. 5. 2019

.....

Bc. Tomáš Plattig

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Michalu Procházkovi, PhD., za odborné vedení a rady při její tvorbě.

Anotace

Tato diplomová práce je věnována problematice sanací a rekonstrukcí budov se zaměřením na vlhkost stavebních konstrukcí a dopady vlhkosti na suterén stavby. Dále se věnuje metodám měření vlhkosti stěn, sanačním opatřením a způsobům jejich provedení na stavebních konstrukcích. Teoretická část práce obsahuje popis a definice stavebně-fyzikálních vlastností stavebních hmot, příčiny vysokého zavlhčení budov a jejich jednotlivé popisy, metody měření a následného vyhodnocení a vypracování vhodného návrhu sanace poškozených konstrukcí. Část práce se zaměřuje na stavby, které pro svou ojedinělost byly začleněny pod ochranu Národního památkového ústavu (NPÚ), s tím spojenou legislativu a případnou volbu a způsob provedení sanačních opatření.

V praktické části práce jsou tyto znalosti aplikovány na konkrétním stavebním objektu. Je proveden stavební a historický průzkum stavby, zjistí se příčiny úpadku technického stavu budovy se zaměřením na daný problém, jeho zdokumentování a vypracování konkrétních řešení pro jeho odstranění. Výsledek šetření je vodítkem pro další postup prací na rekonstrukci objektu shrnutý v doporučení v závěru práce.

Klíčová slova:

Rekonstrukce. Sanace. Stavebně technický průzkum. Stavební fyzika. Vlhkost.

Anotation

This diploma is devoted to the issue of rehabilitation and reconstruction of buildings with a focus on the moisture of building structures and the impact of moisture on the basement of the building. Furthermore, methods of measurement of wall moisture, remediation measures and methods of their implementation on building structures. The theoretical part contains description and definition of building-physical properties of building materials, causes of high wetting of buildings and their individual description. Methods of measurement and subsequent evaluation and elaboration of suitable design of remediation of damaged structures. Part of the thesis focuses on the buildings that were for their uniqueness included under the protection of the National Heritage Institute (NPÚ), the related legislation and whether this fact influences the choice and the way of implementing remediation measures.

In the practical part of this work, this knowledge will be applied to a particular building object. Construction and historical survey of the building will be carried out, the causes of the bankruptcy of the technical condition of the building will be ascertained with a focus on a particular problem, its documentation and the development of specific solutions for its removal. The result of the survey will guide further progress of the reconstruction work, summarized in the final recommendation at the end of the thesis.

Key words:

Reconstruction. Remediation. Structural engineering survey. Building physics. Humidity.

Obsah

1	Úvod do tématu.....	1
2	Cíle	2
3	Teoretická východiska	4
3.1	Stavebně fyzikální vlastnosti stavebních hmot.....	4
3.1.1	Fyzikální vlastnosti	4
3.1.2	Vlhkostní vlastnosti materiálů	5
3.1.3	Transport vlhkosti konstrukcí.....	7
3.1.4	Difúzní vlastnosti materiálů	10
3.1.5	Tepelně-fyzikální veličiny	12
3.1.6	Tepelně-technické vlastnosti materiálů	14
3.2	Příčiny vlhnutí zdiva	16
3.2.1	Srážková voda	16
3.2.2	Voda z podloží a zemní vlhkosti	17
3.2.3	Vlhkost zapříčiněná kondenzací vodních par	17
3.2.4	Tlaková voda	18
3.2.5	Hygroscopicita stavebních materiálů.....	18
3.3	Příčiny vlhnutí omítek.....	20
3.3.1	Kvalita původní omítkové malty.....	21
3.3.2	Cyklické změny teploty a vlhkosti ovzduší.....	21
3.3.3	Trhliny	21
3.3.4	Zmrznutí omítky	21
3.4	Národní památkový ústav	22
3.4.1	Legislativa spojená s revitalizací budov	22
3.4.2	Důvody pro státní ochranu budov	23
4	Metody	23

4.1	Metody průzkumu objektu	23
4.1.1	Průzkum omítek a fasád.....	25
4.2	Metody měření vlhkosti	28
4.2.1	Metoda hmotnostní	29
4.2.2	Metody elektrické	29
4.2.3	Metody chemické	30
4.3	Sanace vlhkého zdiva	30
4.3.1	Mechanické metody sanace vlhkého zdiva	31
4.3.2	Chemické metody	35
4.3.3	Elektrofyzikální metody sanace vlhkého zdiva	37
4.3.4	Vzduchové dutiny	38
4.4	Doplňkové metody sance	39
4.4.1	Sanační omítkové systémy	39
4.4.2	Jílové těsnící vrstvy	40
4.4.3	Úpravy v okolí objektu	41
4.4.4	Drenážní systémy	42
4.5	Metody modelování.....	44
4.5.1	Area EDU 2017.0	44
5	Praktická část.....	47
5.1	Stavebně historický průzkum objektu.....	47
5.1.1	Identifikace objektu	47
5.1.2	Historie objektu	47
5.1.3	Popis objektu z architektonického hlediska	48
5.2	Stavebně technický průzkum objektu.....	49
5.2.1	Geologické a hydrogeologické podmínky.....	49
5.2.2	Popis konstrukcí objektu	50

5.2.3	Stavebně technický stav jednotlivých konstrukcí.....	54
5.2.4	Vlhkostní průzkum.....	58
5.3	Mapování a řešení konkrétní závady	60
5.3.1	Lokalizace místa vážného narušení objektu vlhkostí	61
5.3.2	Měření vlhkosti v místě problému.....	61
5.3.3	Modelace stavu ze známých faktů	69
5.3.4	Modely návrhů metod sanace	76
5.3.5	Technologický postup zvolené metody.....	95
6	Doporučení pro další postup rekonstrukce objektu	96
	Závěr	99
	Literatura.....	100
	Seznam obrázků.....	102
	Seznam tabulek.....	105
	Přílohy.....	106

1 Úvod do tématu

Diplomová práce je zaměřena na rekonstrukci a sanaci zchátralých stavebních objektů, na kterých se projevilo působení negativních vlivů vlhkosti a zanedbání údržby. Tyto objekty vyžadují opatření, která navrátí zpět jejich funkčnost a původní vzhled budovy. Rekonstrukce a sanace je komplexní proces, při kterém je třeba co nejlépe poznat současný technický stav konstrukcí a objektu jako celku, současný statický stav a statický návrh konstrukcí při realizaci stavby. Bez těchto poznatků stěží dokážeme zvolit správné technologické metody pro opravu zchátralé budovy, proto je jim v praxi věnována velká pozornost a je vyžadována velká důslednost ve vypracování celého projektu technického průzkumu, počínaje architektonickým mapováním samotného stavebního díla, stavu a typu nosných a nenosných konstrukcí až po hydrogeologické zmapování lokality a podloží v místě objektu. Jen za předpokladu znalosti všech těchto dílčích aspektů se dají s vysokou spolehlivostí a účinností navrhnout sanační metody, které budou opravdu ku prospěchu.

Nejčastější příčinou degradace staveb a jejich konstrukcí jsou všechny negativní vlivy působení vody, změna klimatických vlivů za posledních několik desetiletí, kde dobové materiály nevykazují dostatečnou odolnost vůči současnému, místy agresivnějšímu prostředí. Velké škody dále způsobuje špatné užívání staveb lidmi, nevhodné a neodborné úpravy a opravy dílčích konstrukcí a staveb jako celku.

Voda na konstrukce působí mnoha různými způsoby, v podobě vody srážkové a povrchové, až po vodu podzemní. Nejsou-li stavby chráněny před přímými a nepřímými negativními účinky vody, dochází ke zvyšování vlhkosti materiálů a konstrukcí a tím jejich postupné degradaci. Závažným problémem je nadměrné zavlhčení spodní stavby budovy, to může mít na svědomí mnohé závady vedoucí až k poruše statiky objektu. Takové následky se velmi těžko odstraňují a pro jejich vyřešení je zapotřebí sáhnout po více než jedné sanační metodě. Záchrana takto zasažených staveb bývá zpravidla nákladná a trvá déle, úspěšné odstranění problému přitom není vždy zaručeno.

Samostatnou kapitolou v rekonstrukcích zchátralých objektů je revitalizování památkově chráněných objektů, kde je důraz na zachování původního stavu a rázu budov ještě mnohem větší a kritéria mnohem přísnější. Státní památková péče slouží právě k tomu, aby staré, historicky a architektonicky významné budovy byly zachovány i pro další generace. Pro vlastníka těchto budov je fakt, že objekt je památkově chráněn, vzhledem k zamýšlené

rekonstrukci spíše omezující. V konečném důsledku však pomůže zachovat na jeho majetku to nejcennější.

Z hlediska financování je oprava památkově chráněných budov znatelně nákladnější. V současné době však existují možnosti čerpání dotací ze státních či evropských fondů, které mohou být při rekonstrukci finančně nápomocny.

2 Cíle

Cílem diplomové práce je vypracovat - na základě získaných teoretických znalostí o jednotlivých fyzikálních jevech a procesech souvisejících se vznikem vlhkosti, s jejím transportem v konstrukcích a následným odstraněním - výzkumem podložené sanační řešení zmapovaného problému na konkrétním stavebním objektu.

a) Sjednocení teoretických znalostí o sanaci staveb, příčinách vzniku, metodách měření a způsobech sanace

Znalost příčin vzniku poškození vlivem vlhkosti konstrukcí je stěžejní. Pro návrh sanačního opatření je potřeba znát způsob, jakým se voda do konstrukce dostává, v jakém množství, kam a jakým způsobem se šíří, co způsobuje a jak se jí zbavit. Je nutné zpracovat souhrn teoretických znalostí se zaměřením na fyzikální veličiny a vlastnosti stavebních materiálů spjaté s uvedenými problémy, metody měření vlhkosti a popis vyzkoušených sanačních opatření. To vše je předmětem teoretické části práce. Na základě uvedených poznatků je možné zasvěceně se zabývat částí praktickou.

b) Vytvoření stavebně technického průzkumu vybraného objektu

Ve zvoleném objektu je zpracován jeho průzkum. Na základě stavebně technických podkladů lze hovořit o jednotlivých konstrukcích, jejich statickém a architektonickém přínosu. Součástí stavebního průzkumu je architektonické zdokumentování stavby a popis jejích prvků, stavebně technický průzkum, který se zabývá technickým stavem budovy, v krátkosti je zdokumentováno geologické a hydrologické podloží stavby a na zvoleném místě a konstrukci se provede vizuální vlhkostní průzkum a měření vlhkosti.

c) Návrh a modelování jednotlivých řešení sanace a oprav

Z faktů získaných stavebně technickým průzkumem stavby a teoretických znalostí z 1. dílčího cíle je navrženo několik sanačních opatření na nejvíce porušené stavební konstrukci. Vypracovaný detail konstrukce je vnesen do programu Area EDU za účelem vytvoření modelu odpovídajícího skutečným podmínkám. Následně se v programu namodelují a vyhodnotí jednotlivé varianty řešení se zaměřením na vlhkostní poměry a difúzi vodní páry v konstrukcích, a to za různých vnitřních a venkovních klimatických podmínek.

3 Teoretická východiska

3.1 Stavebně fyzikální vlastnosti stavebních hmot

- Fyzikální vlastnosti
- Vlhkostní vlastnosti
- Difúzní vlastnosti
- Tepelné vlastnosti

3.1.1 Fyzikální vlastnosti

Objemová hmotnost

Každý stavební a jiný materiál je jinak těžký, to ovlivňuje druh, hustota a uspořádání atomů a molekul hmoty v krystalické mřížce.

Objemová hmotnost je poměr váhy na prostorovou jednotku. Udává se zpravidla v kg/m^3 a značí se řeckým písmenem ρ .

Hutnost

Hutnost značí stupeň naplnění jednotky objemu vlastní pevnou látkou materiálu. Lze ji definovat jen u pevných látek. Z matematického hlediska je to poměr objemové hmotnosti k hustotě látky. Tedy:

$$h = \frac{\rho_v}{\rho} * 100 \text{ [%]}$$

ρ_v – objemová hmotnost materiálu v Kg/m^3

ρ – objemová hmotnost pevné látky v Kg/m^3

Mezerovitost

Mezerovitost je vlastnost zrnitých sypkých materiálů. Mezerovitost vypočítáme ze vztahu:

$$m = \frac{V_m}{V} * 100 = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_v}\right) * 100 [\%]$$

kde M je mezerovitost v %, V_m je objem mezer mezi zrny v m^3 , ρ_s je sypká hustota v kgm^{-3} , V je celkový objem v m^3 , ρ_v je objemová hmotnost zrn v kgm^{-3} .

3.1.2 Vlhkostní vlastnosti materiálů

Rovnovážný stav vlhkosti

Rovnovážný stav vlhkosti stavebních i jiných materiálů nastává přirozeně. Je to fyzikální proces, při kterém parciální tlak vodní páry obsažené ve vzduchu má tendenci se vyrovnat s parciálním tlakem vodní páry obsažené v materiálu za atmosférického tlaku. Tlakem vodní páry v materiálu se rozumí tlak vodní páry v dutinách a pórech hmoty, nikoliv hmoty jako takové.

Směr prostupu vodní páry může být i opačný, v případě, že parciální tlak vodní páry je ve stavebním materiálu vyšší než v okolním klimatu.

Množství rozptýlené vodní páry ve vzduchu se liší v závislosti na teplotě vzduchu, tedy i množství vodní páry v materiálu je dle teploty rozdílné a tím i rovnovážná hodnota vlhkosti v materiálu.

Různé hodnoty rovnovážné vlhkosti ve stavebních materiálech za určité teploty ukazuje následující tabulka.

Tabulka 1 – Rovnovážné hodnoty vlhkosti materiálů dle rel. vlhkosti vzduchu (4)

Stavební hmota	Vlhkost stavební hmoty w [%] při relativní vlhkosti vzduchu φ [%]					
	35	60	70	90	97	100
Plné cihly	0,28	0,1–0,6	0,5	0,1–0,6	1,3	1,5–1,8 2,7–3,2
Vápenná malta 1 : 3, $\rho = 1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	0,6	1,2	1,4	2,4	2,8	3,9
Nastavovaná malta 1 : 2 : 9, $\rho = 1960 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1,5	2,6	3,6	5,6	7,2	11,2
Cementová malta 1 : 3, $\rho = 2110 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	–	2,8–3,3	3,3–4,3	4,3–5,7	5,2–6,6	8
Dřevo Průměrná hodnota	–	10	14	18	–	31
Vápenitý pískovec $\rho = 1920 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	0,7	–	1,6	–	5,9	–
Bělohorská opuka	–	5	6	8	–	–

Nasákavost

Tato vlastnost stavebních materiálů určuje, jakou mají různé materiály schopnost přejímat vlhkost a do jaké míry. Různé materiály mají různou hodnotu nasákavosti, jsou látky savější a naopak látky, které nejsou savé, což záleží z velké části na jejich pórovitosti a mezerovitosti. Čím větší procentní podíl těchto dutých míst materiál obsahuje, tím více je voda schopna se do něj dostat a tato místa zaplnit. Do materiálu a do hmoty jako takové proniká vlhkost až do mikropórů i jako vodní pára.

Rychlost dosažení maximální nasákavosti, tj. hodnoty hmotnostního podílu vody a pevné složky materiálu v suchém stavu, má každá látka různou. Zde záleží na velikosti pórů látky, stupně intenzity vystavení působení účinkům jak vzdušné vlhkosti (sorpce), tak vody kapalně a míry „ponoření“ materiálu do míst vodou zatopených (kapilarita-viz 3.2.5. Vzlínavost).

V následující tabulce je výčet běžných stavebních materiálů užívaných na stavbách v hojné míře v minulosti i v současnosti. Je vidět, že čím menší je pórovitost, tím je také zpravidla menší nasákavost.

Tabulka 2 – Pórovitost a nasákavost v hmotnostních procentech. (4)

Číslo	Materiál	Pórovitost (%)	Nasákavost (%)
1.	cihly pálené	20–37	17–31,5
2.	vápenec	31,0	12,3
3.	malta cementová 1 : 4	31,5	24,7
4.	malta vápenná 1 : 4	40,6	23,8
5.	malty různé	30–73	23–52
6.	sádra	51–66	35–45
7.	struska	59,9	59,5
8.	písek	39,5	36,5
9.	drobný štěrka	42,3	42,0
10.	mramor	2,6	1,1
11.	pískovec	0,5–25	0,5–24
12.	tufové kamenivo	20–30	12–30
13.	břidlice	1,6–2,5	1,4–1,8

Vzlínavost (kapilarita)

Vzlínavost je vlastnost všech pórovitých materiálů, tedy téměř všech základních stavebních materiálů. Kapilarita se začne projevovat po částečném ponoření tělesa do vody a po určité době dojde k ustálení výšky vystoupání vody do materiálu. Hodnota vzlínavosti je

tedy dána rozdílem výšek hladiny vody, do které je těleso ponořeno, a výškou elevace kapaliny, do které vystoupala. „Výška, do níž kapalina nad hladinu vystoupí, závisí na struktuře materiálu, na rozměrech jeho pórů, na rychlosti odpařování do ovzduší a na době, po kterou je látka v kapalině částečně ponořena. V první fázi ponoření nastane rychlé vzlínání kapaliny do látky, postupem času se rychlost vzlínání zpomaluje. V praktických případech se vzlínavost posuzuje výškou hladiny vlhkosti, do které vlhkost vystoupila nad čáru ponoru (rozdílné zbarvení materiálu nad hranicí a pod hranicí vzlínavosti).“ (1 str. 62)

Nejčastěji se u staveb setkáváme se vzlínavostí vody v suterénech domu, kde časem hydroizolace přestala plnit svou funkci nebo nebyla vůbec realizována. Zemní vlhkosti pak nebrání nic, aby se z podzákladí nebo zboku, v kontaktu se svislými podzemními zdmi, dostávala do struktury stěny a konstrukcí stoupala (vzlínala) výše, například do podlah nebo dále stěnou vzhůru až nad terén, kde se může projevit negativními důsledky, například na kvalitě omítek. S vlhkostí se do konstrukcí dostávají i soli, které případný proces degradace urychlují. (viz 3.3.4. Tlaková voda-salinita zdiva)

3.1.3 Transport vlhkosti konstrukcí

Sorpce

Jev, kdy dochází k pohlcování vzdušné vlhkosti materiálem, parciální tlak vodní páry je vyšší v okolním vzduchu, vyšší absolutní tlak vede vodní páru do materiálu, až do vyrovnání tlaků a dosažení rovnovážného stavu.

Desorpce

Opak sorpce, v materiálu se vyskytuje větší tlak vodní páry než v okolním prostředí, a tím dochází ke směru toku vodní páry ven z materiálu, po dosažení rovnovážného stavu.

Difuze vodní páry

Tento jev popisuje průnik vodní páry obsažené ve vzduchu skrze stavební konstrukci z vnějšího do vnitřního prostředí nebo obráceně nebo také mezi dvěma prostory v interiéru či exteriéru. Zkrátka kdekoliv, kde je stavební konstrukcí odděleno prostředí s rozdílnými parciálními tlaky vodní páry.

Vzduch ve vnitřních prostorech i venkovní atmosféře považujeme z hlediska tepelné techniky za směs suchého vzduchu a vodní páry, přičemž obě složky vyvozují částečné (parciální) tlaky. „V našich klimatických podmínkách jsou teploty vnitřního vzduchu v interiéru budov po většinu roku vyšší než teploty venkovního vzduchu. Totéž platí o parciálních tlacích vodní páry. To znamená, že k difuzi vodní páry skrze obvodové konstrukce dochází většinou ve směru z interiéru do exteriéru.“ (2 str. 25) Množství vodní páry ve vzduchu se dá popsat dvěma způsoby, a to:

Hustotou nebo koncentrací vodní páry ve vzduchu - ρ_v [kg/m³]

Tlakem vodní páry - p_v [Pa]

V závislosti na změně teploty se množství vypařitelné vody a tím hustota vodní páry nebo její parciální tlak mění. Obecně platí, že s rostoucí teplotou vzduchu se do něj může vypařit více vody.

Hustota (koncentrace) nasycené vodní páry - $\rho_{v,sat}$ [kg/m³]

Tlak nasycené vodní páry - $p_{v,sat}$ [Pa]

Kondenzace vodní páry

Pokud se do vzduchu již nasyceného vodní parou ($p_v = p_{v,sat}$) začne vypařovat další voda, dochází ke kondenzaci vodní páry, tj. vysrážení vodní páry na kapalnou vodu.

Další důležitou veličinu stavební fyziky je relativní vlhkost vzduchu φ [-]. Relativní vlhkost vzduchu je poměr mezi částečným tlakem vodní páry (p_v) a tlakem nasycené vodní páry ($p_{v,sat}$)

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,sat}} = \frac{\rho_v}{\rho_{v,sat}} \quad [-]$$

Dosáhne-li tedy relativní vlhkost vzduchu hodnoty 100%, dojde k vysrážení kapiček vody na nejbližším pevném povrchu, v případě budov například na povrchu stěn budovy, na oknech nebo také uvnitř stěn. Ve všech těchto případech jde tedy o povrchovou kondenzaci vodní páry.

Při difuzi vodní páry je voda „tlačena“ konstrukcí z prostředí s vyšším tlakem vodní páry směrem do prostředí s tlakem menším. Tedy do prostředí s nižší teplotou, to znamená, že teplotní rozdíl je v závislosti na druhu obálky budovy vygradován uvnitř konstrukce a je

tedy pravděpodobné, že za určitých podmínek dojde ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. Množství vodní páry obsažené v teplejším prostředí se částečně začne srážet v místě, kde teplota (izoterma procházející konstrukcí) již nedovolí takové množství vody ve vzduchu udržet.

Tato teplota, potažmo tento bod je označován jako rosný bod.

Tabulka 3 – °C rosného bodu v závislosti na int. teplotě a rel. vlhkosti vzduchu (4)

Interiérová teplota vzduchu	Interiérová relativní vlhkost vzduchu	Teplota rosného bodu vzduchu
20 °C	40 %	6,03 °C
20 °C	50 %	9,29 °C
20 °C	60 %	12,02 °C
20 °C	70 %	14,37 °C
25 °C	40 %	10,49 °C
25 °C	50 %	13,87 °C
25 °C	60 %	16,70 °C
25 °C	70 %	19,15 °C

Hodnota rosného bodu v závislosti na teplotě a tedy na parciálním tlaku vodní páry v daném prostředí se dá vypočíst ze vzorce:

$$\theta_i = \frac{236 \cdot \ln p_i - 1513,867}{23,59 - \ln 673,1} \text{ [}^\circ\text{C]}, \text{ kde:}$$

p_i – parciální tlak vodní páry v prostředí interiéru

Takto vypočtená hodnota říká, zda dochází ke kondenzaci vodních par na površích v kontaktu s prostředím zaplněným vzduchem, o dané teplotě a tlaku vodní páry.

Kapilární kondenzace

„Při překročení rosného bodu dochází ke kondenzaci vodních par. Diagramy, které tuto zákonitost určují, platí pro plochy rovné, u stavebních materiálů pro povrchy větších dutin, pórů a kaveren. U zakřivení povrchů s poloměrem menším než 10^{-4} mm dochází ke kondenzaci vodních par mnohem dříve.“ (2 str. 36)

Toto tedy v praxi znamená, že nezáleží jen na dosažení hodnoty rosného bodu v konstrukci, ale také na velikosti póru v materiálu. Záměrně vynechávám pojem dutin, jelikož dutiny jsou zpravidla řádově větších rozměrů než póry a tento problém se těchto oblastí tedy netýká.

Poloměr molekuly vody je 10^{-7} mm. Difúze vodní páry může nastat jen za předpokladu, že poloměr pórů materiálů je v rozmezí $0,5 \cdot 10^{-6}$ mm, tedy dostatečně velký pro prostup molekul vody. V případě, že stavební materiál je mikroporézni, kde poloměr pórů je pod touto limitní hranicí, dochází k tomu, že vlhkost vzduchu v mikropórech v konstrukci (materiálu), která se do ní dostala různými způsoby, nemá jak uniknout ven a v místech dosažení rosného bodu a i dříve se začne kondenzovat. Dva materiály o stejném objemu póru se tedy za stejných okrajových podmínek mohou chovat rozdílně.

„Kapilární kondenzace je příčinou, proč jsou jemnozrnné horniny jako opuky a cementové malty za stejné teploty vlhčí. Místa vyspravená cementovou maltou nebo cementové omítky ve vlhkých sklepních prostorách jsou následkem toho vždy oroseny, zatímco jiné druhy stavebních materiálů s většími póry zůstávají suché.“ (4 stránky 36-37)

3.1.4 Difúzní vlastnosti materiálů

U vybraných materiálů je důležité znát jejich difúzní vlastnost, tedy schopnost propouštět nebo zadržet vodní páru obsaženou ve vzduchu. Jsou jimi např. základové nebo střešní hydroizolace nebo parotěsné či páro-propustné fólie, materiály pro povrchovou úpravu stěn jako fasády, běžné i sanační omítky.

Základní veličiny určující vlastnosti homogenních a nehomogenních materiálů jsou tyto:

Součinitel difúze

„Součinitel difúzní vodivosti δ se běžně uvádí v sekundách

$\delta = \frac{kg}{m \cdot s \cdot Pa} = [s^{-1}]$. Vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí.“ (1 str.

64) Difúzní vodivosti materiálů určuje technická **norma ČSN 73 0540**, jejichž hodnoty se pohybují od dokonalé páro-těsnosti $\delta_n = 0 s^{-1}$ (hydroizolační fólie, kovy, sklo) až po difúzně vodivé materiály, jako např. rohože z minerálních vláken $\delta_n = 0,17 \cdot 10^{-9} s^{-1}$.

Hodnota součinitele difúze závisí na několika faktorech. Jsou jimi: teplota vzduchu, kdy za rostoucí teploty součinitel difúze stoupá, vlhkost vzduchu, kdy naopak se vzrůstající vlhkostí součinitel difúze klesá a struktura materiálu, tj. velikost, propojenost, množství a otevřenost (uzavřenost) pórů materiálu.

Faktor difúzního odporu

„Schopnost materiálu propouštět vodní páry lze vyjádřit vedle součinitele difúze také bezrozměrným faktorem difúzního odporu.“ (1 str. 61) Dle **ČSN 73 0540** je přibližná hodnota difúzního odporu vzduchu závisující na teplotě $5,45 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$. Kdybychom porovnali relativní schopnost materiálu propouštět vodní páry s relativní (přibližnou) hodnotou difúze vzduchu o téže tloušťce, jako je dotyčná tloušťka materiálu, dostaneme bezrozměrný faktor difúzního odporu μ , za vztahu $\mu = \frac{1}{N \cdot \delta} [-]$, kde:

μ je faktor difúzního odporu,

δ je součinitel difúzní vodivosti (s^{-1})

Faktor difúzního odporu se podle normy **ČSN 73 0540** pohybuje v rozmezí od 1 do 160 000, nejvyšších hodnot dosahují hydroizolační materiály. Zjednodušeně tato veličina říká, kolikrát stejná vrstva vzduchu propouští vlhkost lépe, než daný materiál o stejné tloušťce.

Ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu

Vlastnost materiálu, která je na rozdíl od dvou předešlých závislá na tloušťce materiálu, nám říká, jak mocná vrstva vzduchu za běžných podmínek by se vyrovnala difúzní tloušťce daného materiálu specifické tloušťky (zpravidla materiálů pro povrchové úpravy jako omítky, nátěry). „V **ČSN EN 12524** se používá pro ekvivalentní difúzní tloušťku značka s_d a v této normě je uvedena tabulka s hodnotami ekvivalentní difúzní tloušťky hydroizolačních materiálů v metrech.“

$$s_d = \mu \cdot d \text{ [m]}, \text{ kde}$$

μ je faktor difúzního odporu,

d je tloušťka materiálu (m).

Difúzní odpor materiálu

Vyjadřuje míru, s jakou konstrukce brání difúznímu prostupu vodní páry. „Pomocí difúzního odporu materiálu (konstrukce) se v tepelně-technických výpočtech stanovuje množství zkondenzované vodní páry, např. v souvrství materiálů tvořících skladby střešních konstrukcí apod.“ (1 str. 63)

$$R_d = \mu * d * N = \frac{d}{\delta} [m * s^{-1}], \text{ kde}$$

μ je faktor difúzního odporu materiálu,

d - tloušťka materiálu (m),

N - přibližná hodnota difúzního odporu vzduchu $5,45 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$ závisující na teplotě,

r_d - ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu (m).

Například pěnový polystyrén tloušťky 100 mm má $R_d = 0,1/0,0028 \cdot 10^{-9} = 3,57 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Nebo z jiného soudku – PE (polyethylenová) fólie tloušťky 30 mikrometrů má $R_d = 0,00003/0,000002 \cdot 10^{-9} = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ m}^2/\text{s}$.

3.1.5 Tepelně-fyzikální veličiny

Měrná tepelná vodivost

Základní tepelně-fyzikální vlastnost všech homogenních stavebních materiálů je měrná tepelná vodivost, která vyjadřuje schopnost vést teplo za předpokladu rozdílných teplot v různých místech hmoty materiálu. Každý materiál má svou vlastní měrnou tepelnou vodivost, která je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a byla laboratorně zjištěna pro každý stavební materiál. Pro nové stavební hmoty je nutné tuto hodnotu zjistit. Vyjádřeno slovně je to přenášený tepelný výkon ve wattech (W) na referenční ploše 1 m^2 izotropního homogenního materiálu do vzdálenosti 1 m při teplotních rozdílu 1 K.

„V ČSN 73 0540-1 je vedle součinitele tepelné vodivosti λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) homogenních materiálů definován také ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti λ_{ev} ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), který vyjadřuje schopnost nehomogenní vrstvy materiálu dané tloušťky šířit teplo a kvantifikuje vliv všech způsobů sdílení tepla.“ (1 str. 95)

Velikost součinitele tepelné vodivosti materiálu závisí na:

- vlhkosti,
- pórovitosti (objemové hmotnosti),
- struktury (izotropie – anizotropie),
- teplotě.

Hodnota součinitele prostupu tepla se dosazuje do tepelně-technických výpočtů vlastností stavebních konstrukcí. „*Požadavky na tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2, a to na základě požadovaných a doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla U ($W.m^{-2}.K^{-1}$), který nahradil dříve běžně používaný parametr stavebních konstrukcí odpor konstrukce při prostupu tepla R ($m^2 .K.W^{-1}$).“ (1 str. 96) Materiály jsou tím více tepelně izolační, čím je jejich součinitel tepelné vodivosti menší. Lze je rozdělit na:*

- vysoce tepelně izolační materiály s tepelnou vodivostí od cca $0,03 W.m^{-1}.K^{-1}$ do $0,10 W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností do $500 kg.m^{-3}$,
- materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi s tepelnou vodivostí od $0,10 W.m^{-1}.K^{-1}$ do $0,30 W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností od $500 kg.m^{-3}$ do $800 kg.m^{-3}$,
- materiály se středními tepelně izolačními vlastnostmi s tepelnou vodivostí od $0,30 W.m^{-1}.K^{-1}$ do $0,60 W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností od $800 kg.m^{-3}$ do $1600 kg.m^{-3}$,
- materiály s běžnými tepelně izolačními vlastnostmi s tepelnou vodivostí od $0,60 W.m^{-1}.K^{-1}$ do $1,25 W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností od $1\,600 kg.m^{-3}$ do $2400 kg.m^{-3}$,
- velmi hutné anorganické materiály s tepelnou vodivostí od $1,25 W.m^{-1}.K^{-1}$ do $3,50 W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností větší než $2\,400 kg.m^{-3}$,
- ostatní velmi hutné izotropní materiály s velikostí tepelné vodivosti vyšší než $3,50 W.m^{-1}.K^{-1}$, • kovy s velikostí tepelné vodivosti větší než $50,00 W.m^{-1}.K^{-1}$.

Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita (měrné teplo) c ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) je veličina, kterou se definuje množství tepla potřebné k ohřátí jednoho kilogramu materiálu o jeden Kelvin. Při zjišťování hodnoty měrné tepelné kapacity v laboratoři je nezbytné přesně znát hmotnostní vlhkost materiálu, protože vlhkost je jedna ze dvou vlastností, která měření ovlivňuje nejvíce. Voda má měrnou tepelnou kapacitu velmi vysokou, přesně $4186 J.kg^{-1}.K^{-1}$, tudíž jakákoliv zvýšená hodnota vlhkosti bude výsledek zkreslovat směrem nahoru. Definice veličiny předpokládá, že během průběhu ohřevu tělesa (hmoty) se nijak nemění tlak prostředí, proces probíhá izobaricky. Za druhé velikost měrné tepelné kapacity závisí na teplotě.

„ČSN 73 0540-3 obsahuje tabulkové hodnoty měrné tepelné kapacity a ekvivalentní měrné tepelné kapacity c_d ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) stavebních materiálů. Pro závislost mezi vlhkostí a měrnou tepelnou kapacitou materiálů platí, že se zvyšující se vlhkostí roste velikost měrné tepelné kapacity“ (1 str. 103)

3.1.6 Tepelně-technické vlastnosti materiálů

Za předpokladu znalosti výše uvedených tepelně-fyzikálních veličin lze vypočítat následující tepelně-technických vlastností.

Tepelná jímavost

„Tepelná jímavost vyjadřuje schopnost materiálu přijímat nebo uvolňovat teplo. Čím větší je velikost tepelné jímavosti materiálu, tím méně materiál přijímá, ale i uvolňuje teplo. Naopak nízká hodnota tepelné jímavosti vyjadřuje, že materiál rychle přijme teplo, ale i rychle teplo uvolní (vychladne).“ (1 str. 105)

Tepelná jímavost materiálu se vypočítá ze vztahu:

$$b = \lambda * c * \rho [W^2 * s * m^{-4} . K^{-2}], \text{ kde:}$$

λ – součinitel tepelné vodivosti materiálu ($W.m^{-1}.K^{-1}$),

c – měrná tepelná kapacita materiálu ($J.kg^{-1}.K^{-1}$),

ρ – objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti ($kg.m^{-3}$).

Součinitel teplotní vodivosti

„Hodnoty tepelné jímavosti a teplotní vodivosti materiálů tvořících obvodové konstrukce jsou rozhodující při neustáleném teplotním stavu (např. přerušovaném vytápění) a kolísání teploty v interiéru.“

Platí, že čím je velikost součinitele teplotní vodivosti materiálu vyšší, tím rychleji probíhá vyrovnaní teplot, nebo také, že akumulární schopnost materiálu je tím větší, čím více tepla je materiál schopen přijmout a čím pomaleji toto teplo odevzdává okolí.“ (1 str. 106)

Součinitel teplotní vodivosti lze vypočítat ze vztahu:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} [J * kg^{-1} * K^{-1}], \text{ kde}$$

λ je součinitel tepelné vodivosti materiálu ($W.m^{-1}.K^{-1}$),

c - měrná tepelná kapacita materiálu ($J.kg^{-1}.K^{-1}$),

ρ - objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti ($kg m^{-3}$).

Tepelná vodivost má tedy vliv na rychlost prohřátí konstrukce, kdežto tepelná jímavost na rychlost předávání tepla z konstrukce do prostředí.

Tepelný odpor konstrukce

Tato veličina se odvíjí od součinitele tepelné vodivosti materiálu a vyjadřuje tepelně izolační vlastnosti konstrukce složené z několika materiálů o určité tloušťce a tím o jednotlivých tepelných odporech vrstev konstrukce. Platí, že čím je vyšší tepelný odpor vrstvy materiálu, tím je jeho tepelně izolační schopnost větší.

Tepelný odpor R jednotlivé vrstvy konstrukce (jednoho materiálu) se vypočítá ze vzorce:

$$R = \frac{d}{\lambda} [m^2 * K * W^{-1}], \text{ kde}$$

d – tloušťka vrstvy materiálu

λ – součinitel tepelné vodivosti materiálu

Slovně definováno: tepelný odpor určuje, na jaké ploše a při jakém teplotním rozdílu na jejích površích dojde k přenosu tepla 1 W, tedy 1 joulu za 1 sekundu.

Součinitel prostupu tepla

„Tepelně-technickou veličinou charakterizující tepelně izolační schopnost konstrukce je součinitel prostupu tepla U ($W.m^{-2}.K^{-1}$).

ČSN 73 0540-2 z roku 2002 touto veličinou nahradil, do té doby běžně používanou veličinu - odpor konstrukce při prostupu tepla R_T ($m^2 .K.W^{-1}$), se kterou pracovalo předchozí vydání normy z roku 1994.

Na základě tepelně – fyzikálních vlastností jednotlivých materiálů (jejich tepelného odporu R) tato veličina určuje tepelně – technickou vlastnost celé skladby konstrukce oddělující dvě prostředí s rozdílnou teplotou, včetně zahrnutí tepelných mostů konstrukce. Vyjadřuje množství tepelné energie uniklé konstrukcí na ploše 1 m^2 , při poklesu teploty o 1 Kelvin. Vypočítá se ze vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} [W * m^{-2} * K^{-1}], \text{ kde}$$

R_{si} – odpor při přestupu tepla z interiéru na konstrukci,

R – celkový tepelný odpor konstrukce,

R_{se} – odpor při přestupu z exteriéru do konstrukce

3.2 Příčiny vlhnutí zdiva

vlhnutí zdiva staveb

3.2.1 Srážková voda

Voda volně padající shora, tedy srážková, která je také často hnána větrem, může způsobovat velké problémy stavebním konstrukcím. Dochází k tomu v místech detailů provedení skladeb, jejich napojování, ukončení. Velký vliv má jejich špatné provedení a špatné navaření a realizování na stavbě. Srážkovou vodu má odvádět fungující střecha se všemi prvky, v případě kvalitního provedení odvodnění ze střechy je zamezeno působení škody velkým množstvím vody. Voda hnaná větrem, tedy boční déšť, je rizikem pro svislou obálku budov. Fasáda musí být funkční z mnoha hledisek, jedním z důležitých je právě schopnost odolávat dešti a zabránit proniknutí vody do zdiva. Obecně platí, že režné zdivo je daleko náchylnější na absorbování vlhkosti než zdivo omítnuté. Zcela jiné je to pro zdivo, které je z vnějšího prostředí chráněno fasádním nátěrem nebo omítkou, která vodu téměř vůbec do konstrukce nepustí.

Srážková voda intenzivně působí přímo nebo nepřímo na soklovou část staveb. Zátěž vodou je zde dána jak bočním dopadáním kapek deště, stékáním vody shora, tak i vodou odstříkující od země. Je důležité správně zaizolovat spodek stavby a zvolit vhodnou úpravu soklu tak, aby tyto aspekty negativně neovlivňovaly stavbu.

3.2.2 Voda z podloží a zemní vlhkosti

Voda se dokáže dostat do konstrukce z podzákladí také kapilárním vztlínáním. Zdroj vlhkosti pro tento jev je obsažen v přilehlé zemině a základové spáře jako přirozené zavlhčení půdy a zemin. Může jít o vodu vázanou na zeminu, tedy zemní vlhkost, nebo je zdrojem přímo ustálená hladina podzemních vod, je-li základová spára pod její úrovní, nebo vrstvy zemin na hladinou podzemních vod dovolují svými vlastnostmi (kapilaritou otevřených pórů) její vztlínání až po dosažení samotné stavební konstrukce, zpravidla základů.

„V praxi se setkáváme s případy, kdy je stavební objekt situován na písčitém návrší, několik desítek metrů nad hladinou spodní vody. Kapilární výška písku je přitom malá (několik desítek cm) a zdaleka nedosahuje k patě základového zdiva. Vodu dopraví do této výšky difúze vodní páry.“ (4 str. 64)

Jak je zmíněno, vztlínání vody může být úzce spjato s difúzí vodní páry, kdy vrstvy hornin nad HPV sice nedovolují přímé kapilární vztlínání díky svým velmi malým a mikroskopickým pórům (viz kapilární kondenzace), ale pro svou vysokou difúzní propustnost dovolí průnik vodních par směrem vzhůru do konstrukce, za předpokladu, že směr difúzního toku je dán odpovídajícím rozdílem parciálních tlaků vodní páry v interiéru a v podzákladí.

3.2.3 Vlhkost zapříčiněná kondenzací vodních par

Ze zákonitostí popsaných v odstavci věnovaném *kondenzaci vodní páry* (str. 17) plyne potenciální a velmi reálná hrozba negativních následků kondenzace par ve stěnách nebo na jejích površích, ať už kontaktem se vzduchem či nikoliv.

Pro připomenutí, všeobecně platí, že spadne-li teplota vzduchu v prostoru nebo vzduchu v bezprostředním kontaktu s povrchem konstrukce pod hodnotou rosného bodu, dojde k vysrážení vzdušné vlhkosti v podobě kapek vody na nejbližších površích.

„V letním období se ráno při poklesu teploty tvoří např. na stvolech vegetace nebo na kamenech rosa. Jev známe též z denní praxe, kdy se na vychlazeném pití perlivě vysráží kondenzovaná voda.“ (4 str. 64)

Na stavbách se často setkáváme s kondenzací vody v kritických místech stavebních konstrukcí, kde se nejčastěji teplota dostává pod rosný bod, tj. v svislých a vodorovných nárožích, obzvláště když stěny či strop oddělují dvě rozdílná prostředí z hlediska teplot a tlaků

vodní páry, dále v koutech, v kontaktu s podlahou nebo stropem v interiéru. Velmi často se tímto projeví i nedokonalosti obálky budov, voda se vysráží v místech tepelných mostů, třeba i v ploše zdi, dalšími problematickými místy spojenými s účinky tepelných mostů jsou ostění dveří a oken, kde není tepelně utěsněn styk rámu okna se špaletou, nebo na zasklení oken, zejména u starších typů, kdy se ještě nepoužívala technologie vícenásobného zasklení, dále nezaizolované rozvody studené vody vedené ve stěnách a podlahách. Je mnoho jiných míst a situací, kde na stavebních konstrukcích dochází ke kondenzaci vody, vždy je však problémem pokles teploty pod rosný bod, zejména z důvodu špatně navržené nebo špatně provedené tepelné izolace budovy.

3.2.4 Tlaková voda

Voda působící hydrostatickým tlakem je spojována především s hladinou podzemní vody, tj. vody, která pod svou ustálenou hladinou vyvíjí na svislé konstrukce hydrostatický tlak, dle hydrostatického zákona. Hydrostatický tlak se vypočítá ze vzorce:

$$p = \frac{G}{S} = \rho * g * h \text{ [Pa]}$$

Není však podmínkou, aby jev tlakové vody působil jen pod HPV. „Voda z kaluží či voda z různých dutin, která působením gravitace proniká do pórů zeminy“ (4 str. 67), v jarním období během tání sněhu nebo vytrvalých dešťů nebo nečekaný únik vody, např. z vodovodního potrubí. To jsou všechno případy, kdy se jinak nesaturovaná zemina naplní vodou do maximální hodnoty a je schopna v kontaktu se svislými konstrukcemi vyvozovat boční hydrostatický tlak. Následkem zvýšeného množství vody se také dočasně zvedá hladina podzemní vody a vlivem vody se zvyšuje již tak značné namáhání.

3.2.5 Hygroskopicitata stavebních materiálů

Hygroskopicitata zdiva je jev, při kterém dochází k nasáknutí zdiva nebo omítek vodou v důsledku hygroskopických vlastností solí obsažených ve zdivu nebo omítkách. „Tyto soli mají tu vlastnost, že přejímají vodu z okolního vzduchu. Obsahuje-li zdivo stavebního objektu větší množství takových solí, je ovlivněna jeho rovnovážná vlhkost (viz kapitola 3.1.1 – Rovnovážný stav vlhkosti), která může dosáhnout několikanásobku rovnovážné vlhkosti stavebních materiálů bez solí.“ (4 str. 68)

S pojmem hygroskopicitu stavebních materiálů je tedy spjata salinita zdiva.

Salinita zdiva

Soli, které působí na stavebních konstrukcích největší škody, soli, které mají hygroskopické vlastnosti a u kterých dochází k tzv. hydrataci, což je schopnost solí vázat v krystalické mřížce jen určitý počet molekul, čímž se vytvářejí tzv. hydráty, jsou konkrétně:

- síran sodný – ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) – vzniká často u cihel
- uhličitan sodný – ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) – soda, která vzniká působením oxidu uhličitého (ze vzduchu a z vody) na některé sloučeniny
- dusičnan vápenatý – ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) – obvykle vzniká při působení rozkladných organických látek, které obsahují dusík, za přístupu vzduchu, s látkami ve zdivu obsahujícími vápník (Ca)

Proces hydratace je závislý na teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu, a proto jsou výše zmíněné soli těmi nejnebezpečnějšími, jelikož u nich dochází k procesu hydratace při běžných teplotách vnitřního i venkovního prostředí.

„Při hydrataci dochází k objemovým změnám a důsledku těchto změn jsou vyvíjeny velké lokální tlaky v řádech 10 až 100 MPa, čímž dochází k destrukci omítek a zdiva.“ (5 str. 23)

Výkvěty solí

Tabulka 4 – Tlaky v MPa krystalických solí při procesu hydratace (1)

Vznikající látka	tlak (MPa)
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$	132
$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	111
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	41
$\text{MgSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	49
$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	107
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	27
Na_2SO_4	115
NaCl	219
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	110
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	36
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	30

Viditelný důsledek salinity zdiva je jsou tzv. výkvěty. Projevují se na površích konstrukcí jako skvrny nebo usazeniny v podobě prášků, shluků, krystalů, jehliček, škraloupů, kůry a někdy v podobě jakési plísně. Aby se sůl takto projevila na povrchu nebo pod povrchem stavební konstrukce, je nezbytné, aby byla transportována jako solný roztok od místa vnikání hygroskopických solí do zdiva. Solný roztok vznikne, je-li vlhkost zdiva, potažmo stavební konstrukce, natolik vysoká, aby se sůl ve vodě rozpustila a v důsledku pohybu vlhkosti zdíkem přemístila do míst, kde je odpar vody vyšší, než její příbytek. Tím se část vody odpaří, roztok již není schopný navázat tolik rozpuštěné soli a určité nezbytné množství soli se vysráží právě v těchto místech. „Proto pozorujeme výkvěty v zóně mezi zavlhlou a suchou omítkou“ (4 str. 42)

Rozlišujeme tyto druhy výkvětů solí:

- Výkvěty vnější (eflorescence) – tyto výkvěty se projevují na površích stavebních

Tabulka 5 – Zvětšení objemu v % krystalických solí při procesu hydratace (1)

Původní látka	Reagující látka	Výsledná látka	Zvětšení objemu (%)
Ca(OH)_2	CO_2	CaCO_3	6
Ca(OH)_2	$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	130
Ca(OH)_2	$\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	305
$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{MgSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	145
$\text{MgSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	11
$\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{CaCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	35
$\text{CaCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	24
NaCl	H_2O	$\text{NaCl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	130
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	148
Na_2SO_4	H_2O	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	311

hmot, např. omítek a zdiva formou map, skvrn a usazenin.

- Výkvěty vnitřní (subflorescence) – na rozdíl od výkvětu vnějšího se neprojevují viditelně na površích, ale uvnitř, a z důvodu jejich objemové roztažnosti a jejich schopnost na sebe vázat vodu dodávají zdivu další nežádanou vlhkost.

3.3 Příčiny vlhnutí omítek

Na degradaci vnějšího pláště historických budov se podepisuje nejvíce ztráta soudržnosti pojiva s plnivem. V konečné fázi to může vést až k rozpadu struktury, snížení přídržnosti (adheze) omítky k podkladu končící jejím odpadáváním.

Stárnutí a zhoršování technického stavu omítek má hned několik příčin. Vedle různých stavebních zásahu během historie stavby jde o členitost fasády spolu s typem a úrovní provedení omítky, kvalitu původních surovin a jejich technologického zpracování, existenci nebo neexistenci údržby během životnosti stavby a také změny klimatických podmínek od doby vzniku stavby po současnost. Hovoříme tedy o následujících faktorech:

3.3.1 Kvalita původní omítkové malty

Kvalita původní omítky závisí jednak na stupni vytvrdnutí maltové směsi, který je určujícím faktorem kvality omítky, což závisí na množství a druhu pojiva a stupni jeho karbonatizace, dále závisí na porositě omítky, která je dána poměrem pevných složek a obsahem vody v čerstvé maltové směsi, a v neposlední řadě je kvalitativním ukazatelem stupeň vytvrzení závislý na počátečním procesu tuhnutí kašovité směsi, který určuje teplota a vlhkost prostředí.

3.3.2 Cyklické změny teploty a vlhkosti ovzduší

Fasáda se během let zanáší usazeninami sazí, prachu a zplodinami reakcí vápenné složky omítky s plyny v atmosféře, jako jsou oxidy uhlíku, dusíku a síry, které se v průběhu 20. století mnohanásobně zvýšily a zapříčinily například kyselé deště.

Nevhodné jsou také prudké změny teploty v letním nebo zimním období, kdy dochází ke vzniku povrchových trhlinek i ztrátě adheze lokálních ploch na fasádě.

3.3.3 Trhliny

Nebezpečí trhlin spočívá především v tom, že jimi prostupuje dešťová voda do zdiva se všemi negativními degradačními důsledky, obzvláště nepříjemný je nárazový déšť, který vyvolává značný tlak vody.

3.3.4 Zmrznutí omítky

Fázová přeměna vody v led je spojena s objemovým nárůstem o cca 8%. Proces rozrušování postupuje od povrchu přímým rozpadem v místech, kde tlak vyvozený nárůstem objemu převyšuje mez pevnosti v tahu omítky. Vápenné omítky patří mezi stavební hmoty

s nejnižšími pevnostními parametry a zvláště pak ty, u kterých nedošlo k dostatečné přeměně hydroxidu vápenatého na karbonát vápenatý.

3.4 Národní památkový ústav

Historie Národního památkového ústavu sahá na počátek tohoto společensko-právního oboru, do přelomu 18. a 19. století, kdy se zachování historických památek po našich předcích začínalo brát ve společnosti jako téma vážné a přínosné pro budoucí generace. *„Zařazení památkové péče a ochrany památek v evropských zemích mezi činnosti, které mohou počítat s podporou státu, znamenalo prosazení historického konceptu společenského vývoje jako jedné ze zásadních hodnot evropské společnosti – dnešními slovy evropské identity.“* (6)

V České republice se správa, podmínky a způsoby zařazení, povinnosti a práva majitelů historických nebo jinak cenných budov s architektonickou hodnotou řadí pod ochranu státu, tedy Národního památkového ústavu, veškeré náležitosti ustanovuje zákon **č. 20/1987 Sb.**, tj. Zákon České národní rady o státní památkové péči ze dne 30. března 1987.

3.4.1 Legislativa spojená s revitalizací budov

V rámci zákona České národní rady č. 20/1987 Sb. se restaurováním, rekonstrukcí nebo jiným pojmem, revitalizací památkově chráněných budov zabývá **část druhá** - Péče o kulturní památky. Ochrana a užívání kulturních památek, kde v paragrafu 9 až 20 jsou uvedena práva a povinnosti vyplývající z nabytí majetkové podstaty budov chráněných památkovou péčí pro fyzické a právnické osoby, způsoby provádění rekonstrukce a podmínky, které je nutné splnit, pro řádné a právní započetí rekonstrukce nebo sanace budov pod ochranou NPÚ, jejich správné užívání v souladu s věcnou a historickou podstatou a jiné.

„Vlastník kulturní památky je povinen na vlastní náklad pečovat o její zachování, udržovat ji v dobrém stavu a chránit ji před ohrožením, poškozením, znehodnocením nebo odcizením. Kulturní památku je povinen užívat pouze způsobem, který odpovídá jejímu kulturně politickému významu, památkové hodnotě a technickému stavu. Je-li kulturní památka ve státním vlastnictví, je povinností organizace, která kulturní památku spravuje nebo ji užívá nebo ji má ve vlastnictví, a jejího nadřízeného orgánu vytvářet pro plnění

uvedených povinností všechny potřebné předpoklady.“ (část druhá - Péče o kulturní památky - ochrana a užívání kulturních památek, § 9, odstavec 1)

3.4.2 Důvody pro státní ochranu budov

„Stát chrání kulturní památky jako nedílnou součást kulturního dědictví lidu, svědectví jeho dějin, významného činitele životního prostředí a nenahraditelné bohatství státu. Účelem zákona je vytvořit všestranné podmínky pro další prohlubování politicko-organizační a kulturně výchovné funkce státu při péči o kulturní památky, o jejich zachování, zpřístupňování a vhodné využívání, aby se podílely na rozvoji kultury, umění, vědy a vzdělávání, formování tradic a vlastenectví, na estetické výchově pracujících a tím přispívaly k dalšímu rozvoji společnosti.

Péče státu o kulturní památky zahrnuje činnosti, opatření a rozhodnutí, jimiž orgány a odborná organizace státní památkové péče v souladu se společenskými potřebami zabezpečují zachování, ochranu, zpřístupňování a vhodné společenské uplatnění kulturních památek. Ostatní orgány státní správy a organizace spolupracují v oboru své působnosti s orgány a odbornou organizací státní památkové péče a pomáhají jim při plnění jejich úkolů.“ (část první - základní ustanovení, § 1 - Účel zákona, odstavec 1 a 2)

Vlastními slovy řečeno je stát samozvaným a jediným možným ochráncem společenských, historických, architektonických hodnot, lidmi stvořených a pro lidi potřebných, které chce v dobrém a důstojném stavu i nadále zachovat.

4 Metody

4.1 Metody průzkumu objektu

Stavebně historický průzkum

Stavebně – historický průzkum (SHP) je důležitým podkladem pro rekonstrukci objektů. Získává se studiem původní technické dokumentace, je – li k dispozici, a podrobným průzkumem na stavbě. *„SHP je potřebný pro vypracování návrhu sanace vlhkého zdiva, a to proto, že z jeho výsledků je možno usuzovat na příčiny některých vlhkostních poruch nebo na příčiny jejich atypických projevů.“ (4 str. 16)*

Stavebně technický průzkum

Tento průzkum se zaměřuje na technický stav budovy a jejích konstrukčních prvků. Zejména jsou to tyto body:

- Zjištění konstrukčního systému budovy
- Definování použitých materiálu, jejich kvalitativního stavu. Jsou to především základní konstrukční prvky nosného systému – základy, svislé konstrukce, vodorovné konstrukce, komíny, zastřešení, obvodové pláště, hydroizolace stavby atd.
- Příčiny jednotlivých poruch stavby
- Vnitřní a vnější okrajové podmínky prostředí – vlhkost a teplota, namáhání provozem nebo jinou činností
- Existence, druh a stav hydroizolací
- Jaké stavební úpravy byly během života stavby provedeny a z jakého důvodu
- Způsob užívání stavby

Inženýrsko – geologický a hydrologický průzkum

Obsah průzkumných hydrogeologických prací stanovuje **Příloha A ČSN 73 0600**. Správný návrh sanace vlhkého zdiva, zejména suterénních prostor, musí vycházet z toho průzkumu, „*který musí obsahovat součinitel propustnosti jednotlivých zemin a podloží a údaje o výskytu podzemní vody.*“ (4 str. 15) V případě výskytu podzemní vody je nutné z vrtů určit přesnou výšku její hladiny jak ustáleného stavu, tak stavu kolísavého, s důrazem na nejvyšší dosažitelnou hladinu HPV. Součástí hydrologického průzkumu je určení chemismu podzemních vod a určení výskytu bludných proudů.

Inženýrsko – geologický průzkum se zabývá mechanickými vlastnostmi a detailním popisem jednotlivých vrstev hornin, zkoumá také například mechanické vlivy vyvolané okolním prostředím a provozem. „*Může se jednat o výskyt nárazů, otřesů, kmitání a působení soustředěných i plošných namáhání.*“ (4 str. 15)

Mykologický průzkum

Mykologický průzkum se týká především dřevěných prvků stavby zatížených vlivem zvýšené vlhkosti, například dřevěných trámových stropů, podlah, konstrukcí krovů atp.

„Účelem průzkumu je zjistit případnou existenci biologických dřevokazných škůdců.“

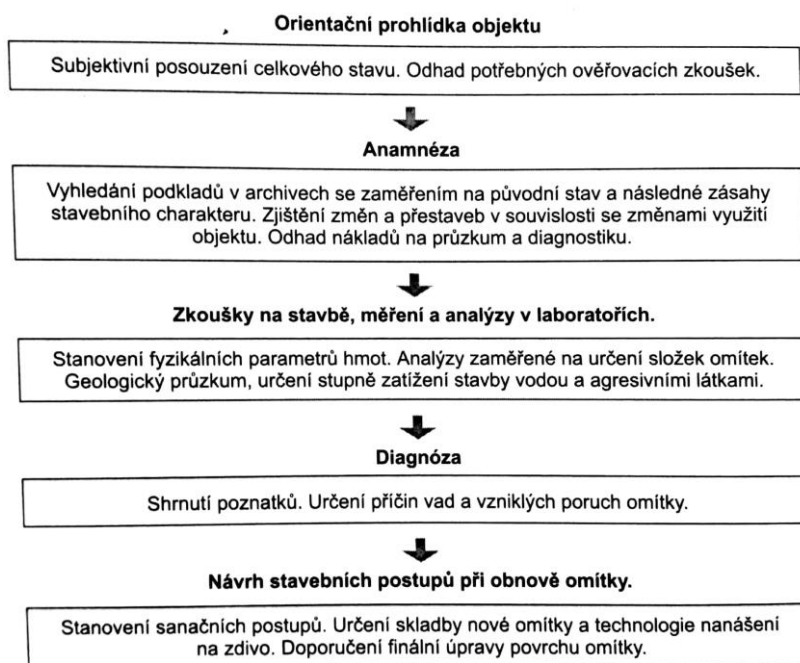
(4 str. 17) Zároveň se v rámci průzkumu zjišťuje příčina výskytu napadení a její rozsah.

Vlhkostní průzkum zdiva

Jak říká pojmenování průzkumu, zabývá se zjišťováním přítomnosti zvýšené vlhkosti ve zdivu a s tím spojených dalších faktorů. Tím je salinita a chemismus zdiva.

4.1.1 Průzkum omítek a fasád

Metody se liší, je-li stavba historicky cenná, či nikoliv. Obecně platí, že u památkově chráněných budov je kladen velký důraz na zachování původního rázu stavby a jejího autentického vzhledu, včetně použití dobových materiálů a pokud možno postupů při její renovaci. Z těchto důvodů je důležité provést stavebně historický průzkum, od jehož výsledků se bude rekonstrukce odvíjet. Obecný postup provádění průzkumu omítek je velmi podobný podstatě průzkumu objektu jako celku. „Specifickým požadavkem průzkumu stavu omítek historických objektů je nutnost respektovat fakt, že zásadní význam má první etapa – průzkum prováděný pracovníky památkové péče.“ (6 str. 120) Posloupnost a popis jednotlivých kroků odborného průzkumu historických fasád je vyobrazen na obrázku níže.



Obrázek 1 – Obecný postup při provádění průzkumů omítek (6)

Stavebně historický průzkum

SHP zahrnuje plošné odkryvy a hloubkovou sondáž omítek sledujících původní povrchovou úpravu a stratigrafii vrstev. Souborné zpracování této části průzkumu musí vycházet z jednotného schématu postupu, dokumentace základních údajů o objektu a získaných výsledků všech pozorování a analýz.

Stavebně historický průzkum by měl obsahovat:

- Stručnou uměleckou-historickou charakteristiku objektu
- Obecný popis stavby
- Označení poloh sond, míst odebraných vzorků
- Popis podkladního zdiva
- Makroskopický popis omítky, počet zjištěných vrstev a způsob původní povrchové úpravy

Technický průzkum

Soustřeďuje se především na tyto úkony:

- Zakreslení ploch, které vedle již odpadlých jsou zjevně poškozené, vypouklé, podmáčené, s výkvěty solí, narušené trhlinkami - zaznamenává se i stupeň zašpinění a barevná nestejnorodost.
- Hodnocení fyzikálních vlastností omítky, tj. stanovení objemové hmotnosti, tvrdosti, pevnostních parametrů a přídržnosti k podkladnímu zdivu.
- Stanovení technologických parametrů zkouškami v laboratořích, chemickým rozbořem určujícím komponenty, ze kterých byla původní omítková malta vyrobena, jejich poměr mísení. Podle vnějších znaků se soudí, jakou technikou byla povrchová úprava provedena.

V závěru každého průzkumu by měl být vysloven názor na příčinu a stupeň poškození omítky.

Chemická analýza

Je považována za nejdůležitější ukazatel kvality. Výsledky analýzy poskytují důležitou informaci o druhu pojiva, plniva a jejich přibližném poměru mísení při výrobě malty. Přesné složení není možno zjistit, protože reakce složek malty v průběhu dlouhého časového období neznáme.

Analytickými postupy se získávají informace o obsahu nerozpustného podílu v omítce (křemenný písek, kamenivo) a pojivu tvořeném u historických omítek oxidem vápenatým CaO s přidruženými oxidy železa a hliníku.

Zkušební postupy uplatňované při chemické analýze omítek vycházejí z klasických analytických postupů ověřených v laboratořích. Stanovení ztráty žíháním se zjišťuje na odváženém vzorku malty vyžíhaném do ustálené teploty. Obsah písku odpovídá části vzorku nerozloženém kyselinou chlorovodíkovou HCL , atp.

4.2 Metody měření vlhkosti

Určení hmotnostní vlhkosti zdiva je základní věc, jejíž hodnota rozhoduje o volbě vhodné sanační metody.

Zjištěnou hmotnostní vlhkost zdiva pak porovnáme s hodnotami uvedenými v **ČSN P 73 0610** (Norma stanovuje zásady pro navrhování, provádění, průzkum, kontrolu a údržbu sanačních systémů ve vlhkém cihelném, smíšeném a kamenném zdivu, jehož zvýšená vlhkost je vyvolána působením zemní vlhkosti, vody prosakující, srážkové, povrchové i kondenzované.) a s hodnotami uvedenými v tabulce. Na základě tohoto porovnání a dalších okrajových podmínek rozhodujeme o návrhu vhodného způsobu sanace.

Tabulka 6 – Klasifikace vlhkosti zděných konstrukcí podle **ČSN P 73 0610**

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva w v % hmotnosti
Velmi nízká	$w < 3$
Nízká	$3 \leq w < 5$
Zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
Vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
Velmi vysoká	$w > 10$

- Uváděná klasifikace se vztahuje na konstrukce staveb s místnostmi a prostory určenými pro pobyt osob; předpokládá se, že stěny jsou vyzděné z plných cihel na vápennou, vápenocementovou nebo cementovou maltu, z cihel vápenopískových a z kamenů těch druhů hornin, které se běžně používaly jako zdicí materiály (pískovce, opuky a další druhy přírodního kamene s nasákavostí vyšší než 10 % hmotnostních).
- Hmotnostní obsahy vlhkosti se vztahují hlavně na směsné vzorky zdicí malty a zdicích prvků, které byly ze zdiva vyjmuty z hloubky 100 mm až 150 mm od líce zdi s otlučenou omítkou; v hloubkách zdiva více než 100 mm pod povrchem je již zpravidla potlačen vliv obklopujícího prostředí na povrchové vrstvy konstrukce (procesy kondenzace a vysušování vody, účinky větrem hnaných dešťů).

Způsoby zjištění hmotnostní vlhkosti zdiva jsou následující:

- Metoda hmotnostní (gravimetrická)
- Metoda chemická
- Metody elektrické

Jednotlivé metody charakterizují stručně, pro měření vlhkosti zdiva na řešeném objektu byla zvolena metoda CM, proto bude popsána podrobněji.

4.2.1 Metoda hmotnostní

Je nejpřesnější metodou, jejíž princip je následující. Ze zdiva se v příslušných místech odeberou vzorky z hloubky minimálně 100 mm. Ty se následně v laboratoři zváží. Pote se vysuší a znovu zváží. Z hmotností vlhkého a suchého vzorku se následně podle vztahu pro W_m určí hmotnostní vlhkost zdiva. Hmotnostní metoda je využívána také pro kalibraci přístrojů jiných metod, které měří vlhkost zdiva nepřímo.

$$W_m = \frac{m_{voda}}{m_x} = \frac{m_v - m_s}{m_s} * 100 \quad [\%]$$

kde:

m_{voda} [kg] – hmotnost vody obsažené v materiálu

m_v [kg] – hmotnost vlhkého materiálu

m_s [kg] – hmotnost suchého materiálu

4.2.2 Metody elektrické

Elektrické metody jsou založeny na měření elektrických veličin, které ovlivňují vlhkost materiálu. Používají se především:

- Metoda kapacitní
- Metoda odporová

Kapacitní metoda je založena na principu měření kapacity kondenzátoru, odporová metoda na principu měření elektrického odporu vlhkého zdiva. Hodnoty obou těchto veličin se totiž s vlhkostí zdiva mění.

Elektrické metody se používají především pro rychlé orientační určení vlhkosti zdiva a pro stanovení hranice mezi plochami o nízké a zvýšené vlhkosti. Hloubkový dosah elektrických vlhkoměrů (kapacitních i odporových) je maximálně 30 až 50 mm.

Výhodou kapacitní metody, resp. Elektrických kapacitních vlhkoměrů, je, že okolní teplota a obsah solí ve zdivu mají na výsledky měření malý vliv. U nízkých hodnot vlhkosti (cca do 6%) vykazuje tato metoda také poměrně velkou přesnost. U vyšších vlhkostí pak přesnost klesá, což je nevýhodou kapacitní metody.

Pokud jde o odporovou metodu, resp. Elektrické odporové vlhkoměry, poskytují tyto přístroje poměrně přesné výsledky u nezasoleného zdiva. S vyšším obsahem solí pak přesnost metody klesá.

4.2.3 Metody chemické

Bývá označována také jako CM metoda (zkratka slov Carbide-Method). Metoda je založena na principu chemické reakce vody s karbidem vápníku. Její výhodou je, že umožňuje poměrně rychlé stanovení vlhkosti přímo na stavbě. Měřicí souprava sestává z ocelové tlakové lahve s manometrem, váhy a dalšího příslušenství. Postup měření je následující:

Po odběru vzorku se provede jeho zvážení a následně se vloží do tlakové lahve. Do lahve se přidá skleněná ampulka s karbidem vápníku a ocelová kulička. Poté se láhev uzavře a po několik minut se s lahví třese. Ocelová kulička rozbije ampulku s karbidem vápníku. Karbid vápníku pak reaguje s vodou obsaženou ve vzorku zdiva:
$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow CaOH_2 + C_2H_2 \uparrow$$
 Po ustálení ručičky na manometru se odečte tlak v lahvi. Na základě hmotnosti vzorku a odečteného tlaku pak z tabulky zjistíme hmotnostní vlhkost. Doba měření včetně odběru vzorku činí přibližně 10 minut.

4.3 Sanace vlhkého zdiva

Způsoby odstraňování vlhkosti z konstrukcí je možno rozdělit do několika skupin a následně na jednotlivé metody. Základem pro správný návrh sanačního opatření na stavbě je znalost všech těchto základních a doplňkových metod, je možné zvolit kombinaci několika odlišných metod a tím docílit co možná nejlepšího výsledku. Zpravidla se volí jedna metoda základní, ke které se přidává i několik metod doplňkových. Sanační metody lze rozdělit na:

A. Základní metody

1. Mechanické metody
2. Chemické metody
3. Elektro-fyzikální metody

B. Doplnkové metody

4. Vzduchové izolační systémy
5. Sanační omítkové systémy
6. Izolace vodo-nepropustným stavivem
7. Jílové těsnicí vrstvy
8. Úpravy v okolí systému
9. Drenážní systémy
10. Mikrovlnné vysoušení

4.3.1 Mechanické metody sanace vlhkého zdiva

Tyto metody jsou navrženy tak, aby co nejradikálněji, ale také nejúčinněji eliminovaly vnikání vlhkosti do zdiva z podzákladí stavby nebo ze zeminy přilehlé například na suterénní stěny objektu. Jde v podstatě o vytvoření dodatečné hydroizolační vrstvy ve stěnách a tím zabránění vztlínání vody směrem vzhůru. Sanují se takto také stavby, ve kterých byla původně realizována hydroizolační vrstva, například z hydroizolačních živičných pásů, jenže jejich životnost je v reálu daleko kratší, než životnost budovy, za předpokladu její existence. To platí obzvláště u hydroizolačních živičných pásů z počátku 20. století, kde jejich kvalita nedosahovala ani zdaleka té, na kterou se navrhují dnešní moderní výrobky. Životnost historických asfaltových hydroizolací se uvádí mezi 20 až 30 lety, v závislosti na namáhání a stupni vystavení okolním vlivům.

Mechanické metody, mezi které se řadí probourávání zdiva, podřezávání zdiva a zarážení izolačního plechu do zdiva, mají však svá omezení použití, a proto je důležité správně a důkladně provést řadu konstrukčních detailů, na nichž do velké míry závisí výsledek sanace.

Limitem pro realizaci těchto metod je prostor uvnitř stavby, v jednotlivých místnostech, kam se musí vejít souprava pro mechanické podřezávání zdiva. Dalším omezujícím faktorem je členitost půdorysu stavby, protože velké množství vnitřních nosných stěn zabraňuje provedení souvislé hydroizolační clony a může vést až k nerealizovatelnosti některých

mechanických metod. Z hlediska technologie je neúčinnější situovat nově vloženou hydroizolační vrstvu do úrovně izolace podlah, z důvodu jejich snadného navázání ze strany interiéru, ale také navázání na svislou hydroizolaci z exteriéru podsklepených prostor. Aby bylo možné mechanickou metodu provést, volí se výšková úroveň zásahu -1 až 3 vrstvy cihel nad podlahou.

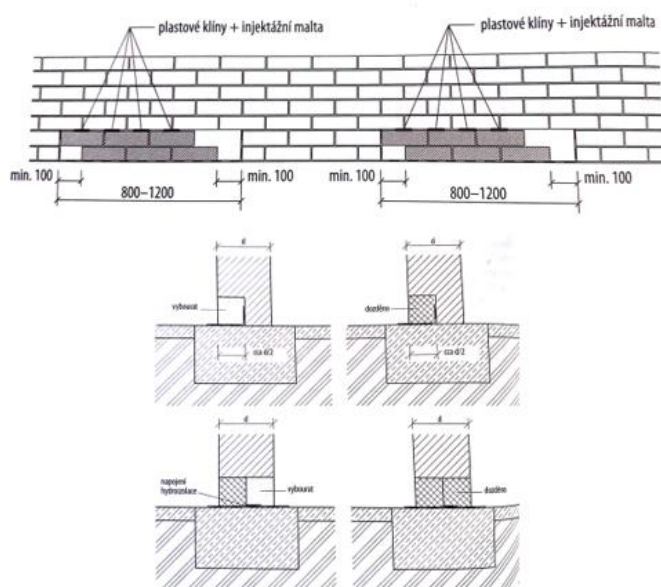
„Jako hydroizolační materiál se volí modifikované asfaltové pásy (SBS) typu S s nenasákavými vložkami, polymerní fólie (např. PEHD, LEHD, apod.), sklolaminátové desky, plechy z nerezové oceli.“ (5 str. 29)

Důležitým omezujícím faktorem je velká destruktivita těchto metod, kde může docházet k sedání v důsledku podříznutí nebo probourání zdiva, tedy zásahu do statického působení, a tyto zásahy jsou již nevratné. Proto jsou tyto metody velmi kriticky zvažované, pokud mají být užity na památkově chráněných budovách.

Probourávání zdiva

V dnešní době se k této metodě nepřistupuje tak často jako v minulosti, a to hlavně pro velkou pracnost a zdoluhavost práce. Jak název napovídá, jde o mechanické a systematické vybourání zdiva po určitých vzdálenostech a přesně daných místech v jasné posloupnosti, aby nebyla narušena statika nosných prvků budovy. Princip této metody spočívá v tom, že se vybourá otvor do nosné stěny v délce v rozmezí 600 mm až 1200 mm a potřebné výšky, kde tato výška je ovlivněna použitým zdícím materiálem a technickým stavem zdiva, v případě horšího stavu se však zdivo bude drolit a tím se bude nechtěně otvor zvětšovat. V případě velmi špatného stavu stěn se přistupuje k dočasným statickým podepřením v místech otvoru. Po vybourání požadovaného rozměru díry se dno otvoru začistí a případně vyspraví zdícím materiálem a vytvoří se jednotná rovná cementová ložná plocha, na kterou se po zatvrdnutí položí nebo navaří hydroizolační pás, jenž zajistí zastavení vztlínající vody výše do konstrukce. Následuje zazdění vybouraného otvoru s důrazem na omezení budoucího sedání nového zdiva, které se eliminuje malými ložnými spárami nebo případně speciálními plastovými klíny, jež se do nové stěny zarážejí. Pomůže i následovná injektáž cementovou maltou, která vyplní dutiny a otvory v nové části zdiva.

Pokračuje se dalším otvorem v návaznosti na předešlém tak, aby bylo umožněno provést spoj vložené hydroizolace podle zásad správné aplikace, a to alespoň 10 cm. „*Postup probourávání otvorů v rámci jedné sanované zdi je takový, že se nejprve vybourají otvory v rozích budovy, pak pod meziokenními pilíři, následně pak ve zbylých částech zdi*“ (5 str.

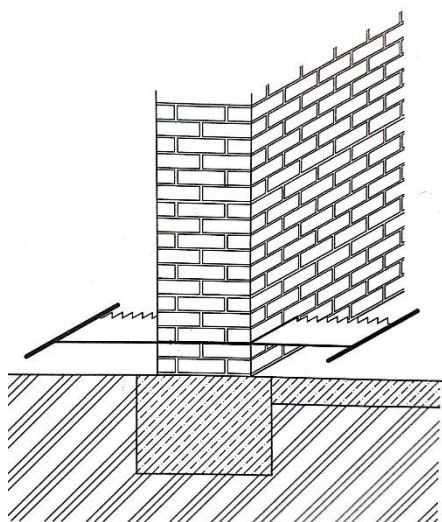


Obrázek 2 – Princip probourávání zdiva (2)

Podřezávání zdiva

Tento způsob využívá stejný princip dodatečného vložení hydroizolace do zdiva, rozdílem je menší destrukce a „čistší“ provedení. Podříznutí lze provést ručně nebo strojně, výsledek je stejný, ovšem tyto dva způsoby provedení se liší v pracnosti a ve finančních nákladech. Obojí má své výhody, avšak jsou situace, v nichž se dá zvolit jen jedna metoda, například pro nedostatek místa pro mechanizaci.

31). Rozlišuje se také probourávání zdiva do 600 mm tloušťky a nad 600 mm. Pokud je tloušťka stěny větší jak 600 mm, přistupuje se k částečnému probourání stěny v interiéru a následně z exteriéru, při probourání celé mocnosti stěny by mohlo hrozit statické narušení budovy



Obrázek 3 - Podřezávání zdiva (4)

Ruční podřezávání

K práci se používá pila, tzv. břichatka, jejíž délka musí být alespoň o půl metru větší než tloušťka zdiva. Podříznutí se provádí v místech ložné spáry, je možné jej provést za předpokladu provedení 1 vodorovné ložné spáry po celé tloušťce zdiva. Není v lidských silách řezat ručně pálené cihly nebo zdivo smíšené, kde se vyskytují i kameny. Práci výrazně usnadní degradace malty v ložné spáře. Práci provádějí dva pracovníci, každý tahá za jeden konec pily, na obou stranách stěny. Délka řezu se dělá shodně s délkou probourání zdiva, tedy cca 1 m.

„Z důvodu návaznosti vodorovné izolace podlahy je vhodné, pokud je to možné, odstranit podkladní vrstvy podlahy v blízkosti sanované zdi tak, aby se podřezání zdi mohlo provést ve stejné výškové úrovni, v jaké bude realizována vodorovná hydroizolace podlahy.“ (5 str. 33)

Po vyčištění vzniklé spáry se do ní pomocí tkaniny stočené na ocelové tyči provede vložení příslušné izolace. Zbylá spára se vyplní cementovou maltou a vyklínuje plastovými klíny pro zabránění sedání.

Strojní podřezávání

Kýžený výsledek je totožný s ručním způsobem podřezání zdiva. Ovšem pro svou velkou fyzickou namáhavost se v řadě případů přistoupí k podříznutí strojovému, které je mnohdy levnější než ruční z důvodu vyšší produktivity práce. Podříznutí se provádí třemi způsoby odvíjejícími se od technologie.

a) podřezávání zdiva řetězovou pilou

Touto metodou lze podřezávat zdivo tl. max. 1 m, tedy na délku vodící lišty pily. Pila je usazena na pohyblivém podvozku, který se po počátečním proříznutí skrze celou tloušťku zdi dá do pohybu (zpravidla zleva doprava) a prořízne ložnou spáru zdiva po délce maximálně 1,2m.

b) podřezávání zdiva lanovou pilou

Předešlá metoda se dala použít jen pro cihelné zdivo o vodorovné jednotné ložné spáře, kterou se řez vedl. Pokud je třeba sanovat zdivo stavěné nejen z pálených cihel nebo jen z cihel, ale bez ložné spáry přes celou tloušťku zdiva, použije se podříznutí pomocí řezacího lana lanovou pilou. „*Jak plyne z výše uvedeného, lanová pila se používá pro řezání v podstatě jakéhokoliv druhu zdiva – cihelného, kamenného, smíšeného či betonu, a to bez ohledu na jeho tloušťku a geometrii ložných spár*“ (5 str. 36) Na začátku a na konci řezného úseku se vyvrtají otvory (ve vzdálenosti až 5 m od sebe), kterými se provlékne lano, to se zasadí do skupiny klatek na oběžné kolo řezacího stroje. Denní výkon je cca 8 až 12 metrů zdiva a je podstatně dražší než řezání řetězovou pilou.

c) podřezávání zdiva kotoučovou pilou

Nejméně praktický a nejméně využívaný postup pro podřezávání nosného zdiva velkých tlouštěk se provádí s pomocí řezného kotouče. V praxi se použije jen do tloušťky zdiva cca do 200 mm, protože po připočtení určité rezervy je zapotřebí kotouč o průměru 0,5 m pro 200mm zdivo. Kdyby se mělo řezat zdivo o tloušťce např. 600 mm, musel by kotouč mít průměr 1300 mm a manipulace s ním by byla značně nepraktická.

Zarážení izolačních plechů do zdiva

Tato metoda byla vyvinuta v roce 1975 v Rakousku, kde je i patentována. Princip tzv. HW metody spočívá v tom, že se do ložné spáry zdiva (je nutné aby zdivo mělo vodorovnou jednotnou ložnou spáru po celé tloušťce zdiva) zaráží pomocí speciálního zařízení vlnité plechy z chromniklové nerezavějící oceli o tl. 1,5 mm. Stroj dokáže zarazit plech do hloubky cca 1 m, lze takto tedy izolovat zdivo proti vzlínající vodě a difúzi vodních par o tloušťce max. 2 m, za předpokladu, že se může proces provádět také z exteriéru.

4.3.2 Chemické metody

Chemickými metodami, tedy injektáží zdiva, lze dosáhnout velmi dobrých výsledků. Tento způsob má mnoho výhod oproti metodám mechanickým, ale vodo-nepropustnost a páro-nepropustnost těchto opatření není taková, jako je při vložení hydroizolačního pásu do zdiva (viz předešlé tři mechanické způsoby sanace). Injektáže jsou vhodné pro materiály s převládajícím obsahem kapilárně aktivních pórů (viz kapitola 3.1.3. Transport vlhkosti

konstrukcí – Vzlínání vlhkosti (Kapilarita)) „Jestliže má injektážní látka působit alespoň na část pórového systému, pak musí mít velikost částic maximálně $5 \cdot 10^{-5}$ m, což je střední hodnota rozmezí pro velikost kapilárně aktivních pórů.

Postup injektáže:

- Kontrola stavu zdiva-zdivo nesmí obsahovat dutiny a velké mezery ve spárách. V takové případě je nejprve nutné injektovat staticky pomocí cementové malty, po zatvrdnutí této statické injektáže lze přistoupit k injektáži chemické, tedy proti vzlínající vodě a difúzi vodní páry.
- Vyvrtání děr pro chemickou injektáž v rozteči do 120 mm.
- Vpravení injektážní substance do zdiva podle způsobu provádění injektáže.

Látek užívaných pro infúzi je mnoho a stejně tak jejich typů a jejich volba závisí na druhu zdiva, vlhkosti, resp. stupni zavlhčení zdiva a na požadovaných vlastnostech injektážní látky. Hydrofobizační prostředky jsou například roztoky organokřemičitých kyselin v organických rozpouštědlech a jejich účelem je zamezit vzlínání vody a kondenzace vodní páry v kapilárách zdiva. Nelze jimi však zabránit difúzi vodních par. „V posledních letech se na trh dostali tzv. **silikonové mikroemulze (SMK)**, které se vyrábějí na bázi silanů a siloxanů. Mají velmi malé částice až do 10^{-10} m, tedy o několik řádů menší, než částice u běžně používaných emulzí“ (5 str. 44) A stejně tak než je spodní hranice velikosti kapilárně aktivních pórů.

Podle způsobu provádění rozdělujeme injektáže na:

- Beztlakové a s hydrostatickým tlakem
- Tlakové
- Zvláštní

Beztlaková injektáž a injektáž s hydrostatickým tlakem

Beztlakovou injektáží se dá sanovat zdivo s $C_w < 60\%$, tedy s poměrem hmotnostní vlhkosti zdiva a maximální nasákavosti zdiva. V takové případě se na vrty zavěsí nádoby s injektážní emulzí, která se nechá samovolně vtéct do zdiva. U beztlakové varianty se nádoba zavěsí do max. 0,2 m nad vyvrtaný otvor, u varianty s hydrostatickým tlakem až do výšky 2 m nad otvor.

Tlaková injektáž

Realizuje se v případě $C_w < 80\%$, využívá se tlaku do 0,6 MPa, což umožňuje zmenšení průměru vrtů až na 15 mm, oproti předešlé možnosti beztlakové injektáže.

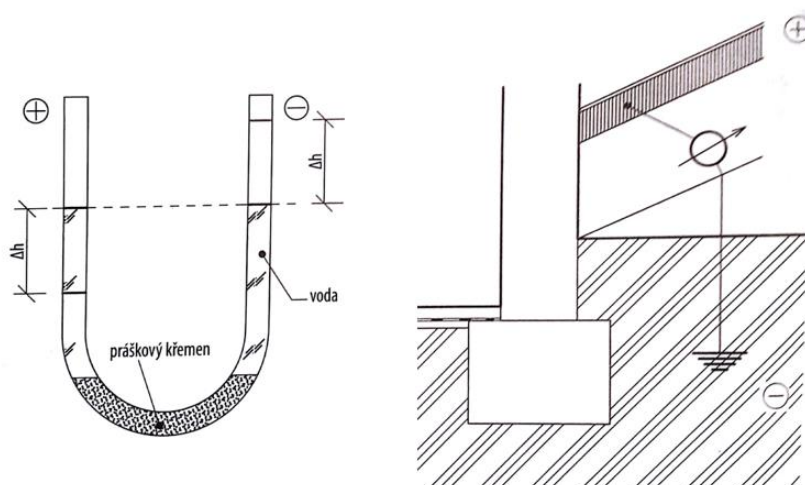
Zvláštní injektáže

Příkladem speciální úpravy je termicky aktivovaná injektáž. Základním principem tohoto způsobu je vysušení zdiva v místech vrtů lokálním ohřátím zdiva na teplotu 200 °C. „Poté se provede aplikace infúzní látky – roztaveného parafinu. Výhodou je, že v žádné technologické etapě není používána voda.“ (5 str. 46) Dalším typem zvláštní injektáže je metoda následné infuze.

4.3.3 Elektrofyzikální metody sanace vlhkého zdiva

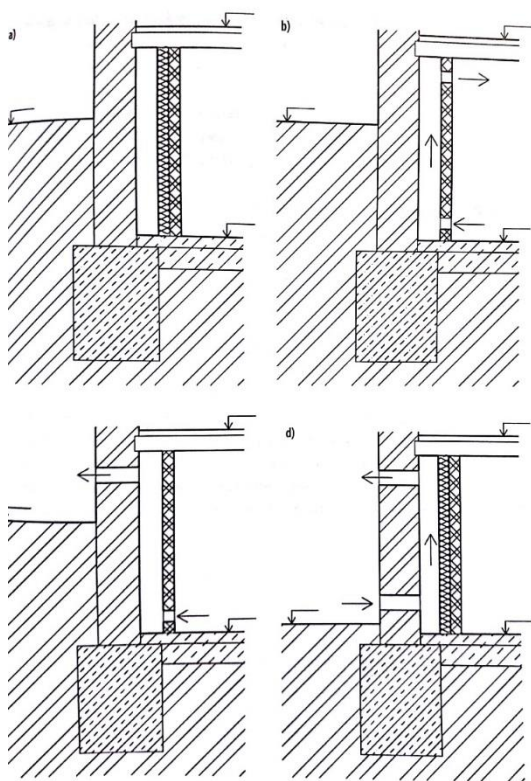
Fyzikálním principem této metody je elektroosmóza, „jejíž podstatou je tzv. elektroosmotický jev. Princip tohoto jevu je následující: V U-trubici máme vodu a v její dolní části práškový křemen. Po připojení na stejnosměrný elektrický proud vodní hladina nezůstává v obou ramenech trubice ve stejné úrovni, ale v rameni u katody vystupuje do vyšší úrovně a v rameni u anody naopak klesá.“ (5 str. 48)

Tato metoda se pro svou jednoduchou montáž a minimální zásahy do zdiva často využívá, a to zejména u historických a památkově chráněných budov. Má však, jako každá metoda, svá omezení. Nelze ji aplikovat u zdiva s vysokým obsahem hygroskopických solí ani u zdiva s kyselým charakterem. ($\text{pH} < 6$). Metoda není účinná proti působení tlakové vody.



Obrázek 4 - Princip elektrofyzikální metody sanace – elektroosmóza (4)

4.3.4 Vzduchové dutiny



obr. č. 5

- a) nevětraná vzduchová dutina
- b) přívod vzduchu z interiéru do interiéru
- c) přívod vzduchu z interiéru do exteriéru
- d) přívod vzduchu z exteriéru do exteriéru

U historických budov mohly být vzduchové dutiny navrženy již při jejich stavbě a po několik let, desetiletí či staletí mohly plnit svou funkci. U velkého množství staveb bylo toto opatření proti vlhkosti realizováno neodborně nebo došlo k zanešení systému cirkulace vzduchu. V průběhu životnosti budovy mohlo také dojít k přestavbách a necitlivým zásahům do

Obrázek 5 – Příklady vzduchových dutin svislých. (2)

konstrukcí a zničení těchto opatření. Je tedy žádoucí, pokud to situace umožňuje, tyto systémy uvést opět do provozu.

Sanace budov pomocí vzduchových dutin se však navrhuje jen v případech, kdy vlhkost cihelného zdiva nepřesahuje 10 %, a to proto, že jejich účinnost je poměrně malá. „Pomocí vzduchových dutin lze snížit hmotnostní vlhkost zdiva maximálně o 2-3%.“ (5 str. 50)

Základním principem tohoto opatření je zamezení přímého kontaktu zdiva se zdrojem vlhkosti pomocí provětrávané dutiny, kde vzduch cirkuluje a vzdušnou vlhkost odvádí ven z konstrukce. Proudění vzduchu v dutině může být řešeno jako gravitační (přirozené) nebo nucené - pomocí ventilátoru.

Příkladem vzduchových dutin jsou předstěny na straně interiéru nebo na venkovní straně, buď zakryté nebo odkryté (anglický dvorek). Provětrávat lze i souvrství podlahy, kdy se zamezuje vnikání vztlínající vlhkosti a difúzi z podzákladí do interiéru. Soklové obklady mohou být předsazené a tím tvořit provětrávanou oblast po výšce soklu.

4.4 Doplnkové metody sanace

4.4.1 Sanační omítkové systémy

Volbou sanační omítky se řeší hned několik problémů vzniklých ve spojitosti se sanačními pracemi na stěnách budovy a odstraní se příčiny vnikání vlhkosti do konstrukce přímo i nepřímo. Sanační omítka jako taková plní funkci estetickou, ale především funkci ryze praktickou. Po provedení sanačních prací na objektu, jako je například podřezání zdiva, zabránění zatékání do budovy pomocí venkovních úprav nebo systémem drenáží atp., zůstávají konstrukce nadále vlhké a procento zavlhčení klesá pomalu. Jak rychle vlhkost klesne do přijatelné úrovně závisí především na tloušťce a materiálu stěn budovy, za předpokladu bezchybného provedení sanace a zabránění velké většiny příčin vnikání vlhkosti do konstrukcí. Je však běžné, že tento proces vysoušení trvá i několik let. *„Vzhledem k tomu, že se jedná o vlhké zdivo, nelze aplikovat povrchové úpravy, které se běžně používají u novostaveb nebo u stávajících staveb, pokud zdivo nevykazuje zvýšenou vlhkost.“* (5 str. 63) Aby proces vysoušení probíhal správně a zároveň byl objekt co nejdříve připraven k užívání, přistupuje se k aplikaci sanačních omítek.

Co je sanační omítka? Sanační omítka je typem omítky s vysokou pórovitostí (více jak 40% objemu) a větší velikostí jednotlivých pórů než mají například omítky vápenné nebo vápenocementové, dále se vyznačuje velmi malým faktorem difúzního odporu $\mu < 12$. Důsledkem její vnitřní hydrofobizace v ní nedochází ke vztlínání vody a solí, které jsou obsaženy a rozpuštěny ve zdivu, nevystupují na povrch, nýbrž se srážejí uvnitř pórů omítky, kde nepáchají škodu.

Požadavky na omítky jsou ve zjednodušené podobě formulovány v české normě **ČSN EN 998-1**. Původní normou, která přišla s formulací požadavků na sanační omítky, je německá směrnice **WTA CZ 2-9-04**, která je respektována i u nás.

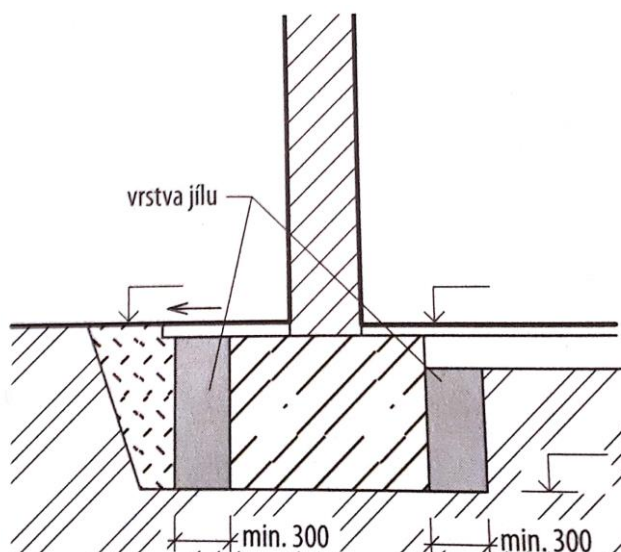
Rekonstrukce cenných architektonických objektů, zejména památkově chráněných, která zahrnuje zásah do vnějšího pláště, musí respektovat existenci dochované omítky a jejího chemického složení a citlivě posuzovat možnost zachování nejen celistvých ploch s částečně erodovaným povrchem, ale i partie menších ploch dokumentujících původní úpravu fasády. Nelze tedy kompletně nahradit vápennou omítku cementovou, nýbrž se musí

zvolit pokud možno složení omítky nejpodobnější originálu, nebo alespoň kompromisní s ohledem na funkčnost, estetiku a historii. To je další důležitý faktor ovlivňující volbu omítky.

4.4.2 Jílové těsnící vrstvy

Další způsob hydroizolace spodních staveb, který svou funkčností nezajistí úplnou vodotěsnost staveb, jako například moderní povlakové hydroizolace, ale pro své mnohé výhody je stále využíván, jsou jílové těsnící vrstvy nebo vrstvy na bázi bentonitu (bentonitové rohože), co je hornina vznikající zvětřováním mateční horniny z čediče (třetihorní hornina). Je charakteristická vysokým obsahem jílových minerálů a vysokou sorpční schopností, kdy při kontaktu s vodou intenzivně bobtná a tím ucpává póry a zamezuje pronikání vody.

Výhodami jílových těsnících vrstev jsou zejména: vysoká plastičnost, díky které kopírují nerovnosti povrchu stěn a nejsou citlivé na případné sedání konstrukcí, a nenáročnost na přesnost provádění a na technickou vybavenost. Tyto přírodní materiály jsou inertní, tedy chemicky nezávadné, a neovlivňují tak chemismus zdiva ani okolí stavby. V neposlední řadě patří k výhodám dlouhá životnost, kterou však negativně ovlivňuje časté střídání vlhkostních podmínek, kdy dochází k vysušování a zpětnému zavlhčování, což vede k odpojování vrstev a k erozi jednotné těsnící vrstvy, následně k rozpadu. Zabránit tomu lze pokrytím jílové těsnící vrstvy další vrstvou zeminy, která přímý vliv klimatu na jílové vrstvy omezí.



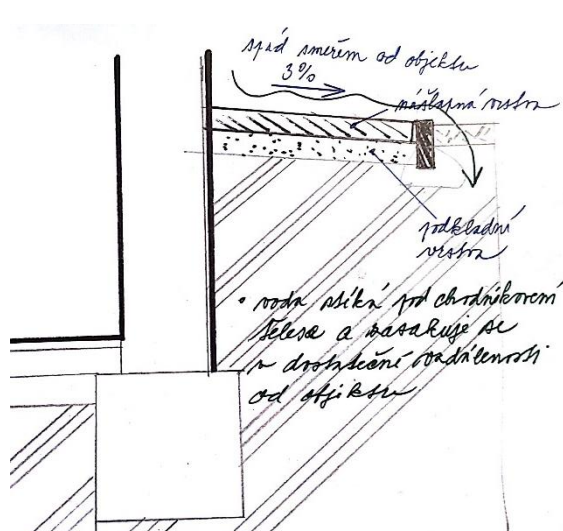
Obrázek 6 – Ukázka užití jílové těsnící vrstvy (2)

U památkově chráněných staveb je jejich aplikace velmi vhodná, zejména, když při její stavbě byly tyto vrstvy využity jako utěsnění spodní stavby a jsou již značně zdegradovány. Jejich obnova je tedy často správným krokem.

Nevýhoda jílových těsnění je jejich schopnost nikoliv těsnit stavbu před vlhkostí, ale udržovat její přiměřený stav. V případě aplikace jílových těsnění před vysušením zamokřeného zdiva tím v podstatě zabráníte nadměrné vlhkosti dostat se do exteriéru, což za určitých podmínek může být v interiéru problém.

4.4.3 Úpravy v okolí objektu

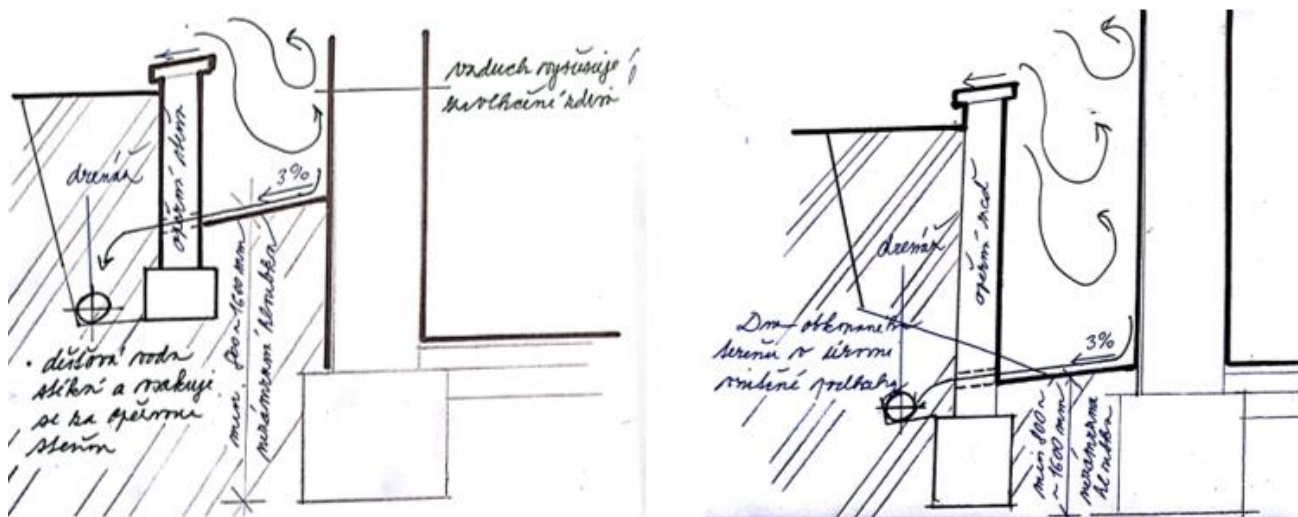
Okolí stavby má velký vliv na množství vlhkosti a vody vnikající pod úroveň přilehlého terénu do zeminy v bezprostředním kontaktu s obvodovými konstrukcemi objektu, případně jeho spodní stavby. Jsou dva hlavní způsoby, jak upravit okolní terén objektu tak, aby se



množství vsakované srážkové vody výrazně omezilo a stejně tak se omezilo negativní působení zemní vlhkosti. Prvním způsobem je vybudování okapových chodníků spádovaných směrem od objektu se správně zvolenou nášlapnou vrstvou, která odvede srážkovou vodu pryč od stěny a nedovolí příliš velký vsak skrze chodník.

Obrázek 7 – Příklad provedení okapového chodníku kolem objektu, zdroj: vlastní

Druhým způsobem je snížení výškové úrovně přilehlého terénu pomocí příkopů. To může mít na odvlhčení zdiva zásadní vliv, protože „dojde nejen k odstranění negativního vlivu zemní vlhkosti, ale také vsakující srážkové vody.“ (5 str. 68) Pro úspěšné provedení této metody je důležité splnit několik zásadních podmínek. Dno obkapaného prostoru přilehlého ke stavbě musí být situováno ideálně pod úroveň vnitřní podlahy nebo alespoň v její úrovni a



Obrázek 8 – Systém obnažení suterénních stěn vybudováním opěrné stěny opodál, zdroj: vlastní

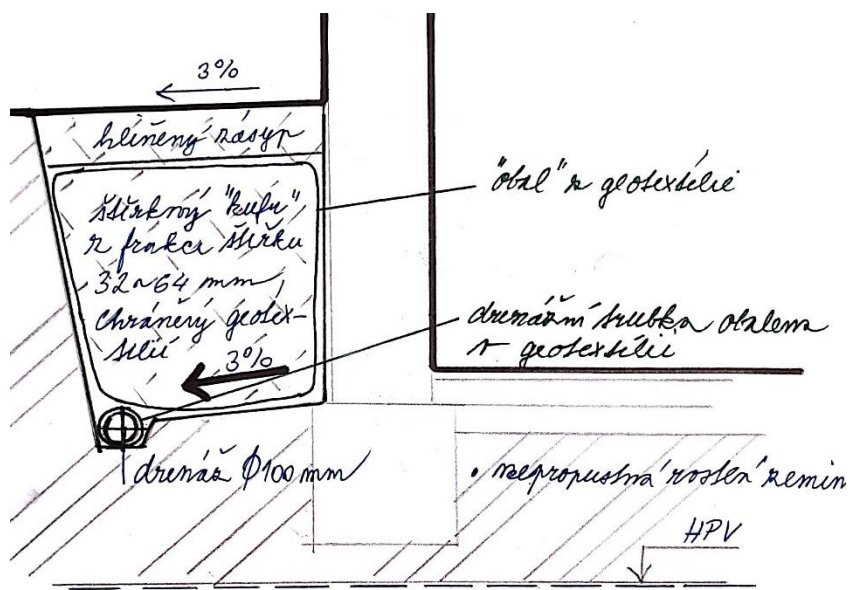
musí být vyspádované směrem od objektu. Někdy to provést nelze, a to tehdy, když by při dodržení výše zmíněných podmínek nebyla respektována minimální nezámrazná hloubka základových konstrukcí, „která je 800 mm a u některých typů jílů až 1600 mm. Nerespektováním tohoto požadavku může dojít v zimním období k zamrznutí vody v zemině pod základy, což má za následek její výrazné objemové změny, jejímž důsledkem jsou vysoké tlaky působící na základy“ stavby. (5 str. 69)

4.4.4 Drenážní systémy

Soustava drenů a drenážních objektů je doplňkovým řešením pro komplexní hydroizolační opatření stavby sloužící k odvedení podzemní a srážkové vody z těsné blízkosti objektu. Drenáž se navrhuje zásadně za podmínek, je-li stavba založena nad úrovní hladiny podzemní vody a:

- budova je založena v nepropustném podloží – „z důvodu snížení hydrofyzikálního namáhání.“ (5 str. 70) V důsledku propustného zasypu kolem stavby by docházelo k volnému zasakování dešťové vody až na úroveň

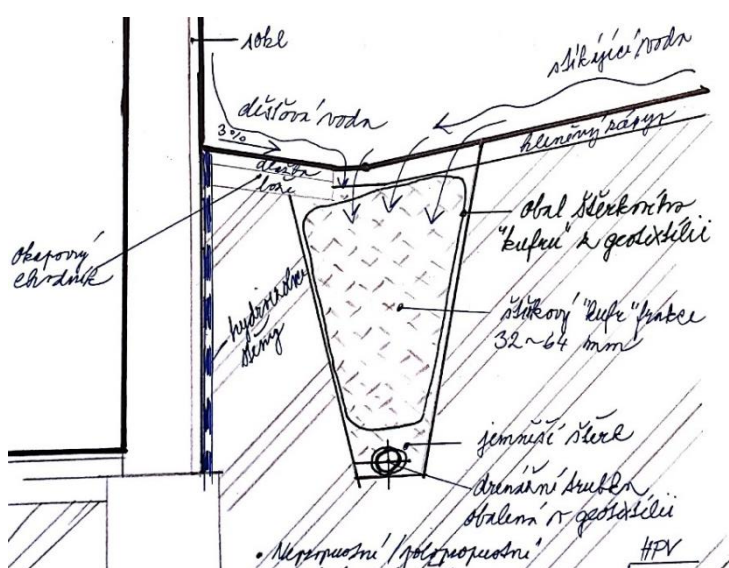
rostlého nepropustného podloží, kde by se zásak zastavil nebo razantně zpomalil. Docházelo by k naplňování tohoto zásypového tělesa vodou a na stavbu by působil hydrostatický tlak, na který by budova nebyla navržena.



Obrázek 9 - Drenáž v nepropustném podloží - běžné provedení, zdroj: vlastní

zemina je vyspádovaná od objektu směrem k ní. Stejně je upravený přilehlý terén stavby.

- b) budova je založena na svahu – voda stékající po svahu směrem k objektu by mohla také působit hydrostatickým tlakem. Proto se v dostatečné vzdálenosti (min. 2 m) od objektu navrhuje drenáž za účelem odvodu a hloubkového zasáknutí této vody.



Obrázek 10 – Hluboká drenáž – voda stéká ze svahu k objektu, zdroj: vlastní

Obr. č. 9: Klasické provedení odvodnění spodní stavby nebo základů pomocí jednoduchého drenážního tělesa. Štěrkový zásyp je obalený v geotextilii, aby jemné částice hlíny nepronikaly společně s vodou dovnitř a nesnížily tak propustnost kamenné vrstvy. Drenážní perforovaná trubka je umístěna nad HPV, rostlá

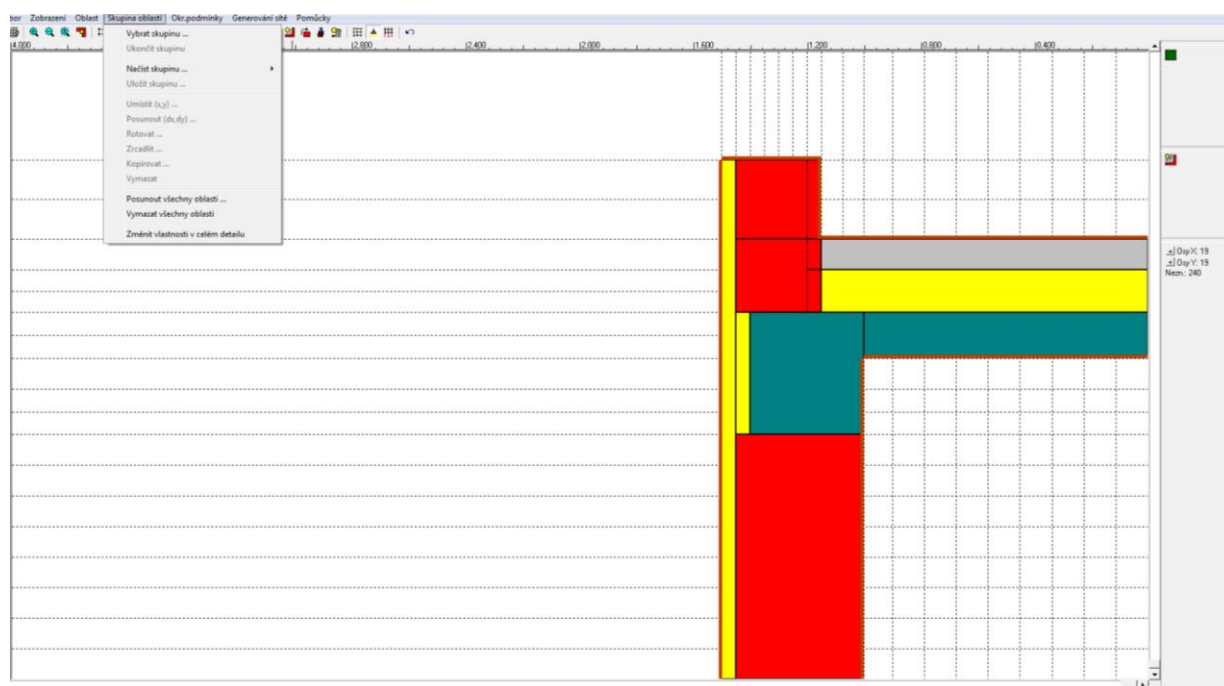
zasáknutí této vody.

Obr. č. 10: Varianta hluboké drenáže jako opatření proti stékající vodě, například z blízkého svahu směrem na objekt. Veškeré zásady pro správné provedení jsou řešeny stejně jako v případě drenáže na obr. č. 9.

- c) V rámci sanačního opatření, kdy nastalo porušení hlavní hydroizolační vrstvy při hydrofyzikálním namáhání gravitační nebo tlakovou vodou.

Pod úrovní hladiny podzemní vody se systém drenů nenavrhuje, bez ohledu na to, zda se jedná o podloží propustné či nepropustné. Drenážní potrubí by se velmi brzy naplnilo vodou, jejíž odvedení je nereálné z důvodu velkého průtočného množství.

4.5 Metody modelování



Obrázek 11 - Ukázka pracovního prostředí programu Area EDU 2017, zdroj: vlastní

4.5.1 Area EDU 2017.0

„Program AREA 2017 je určen pro komplexní hodnocení stavebních detailů (tepelných mostů a vazeb) z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla a vodní páry. Umožňuje výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty, teplotního faktoru vnitřního povrchu, tepelných toků detailem, lineárního činitele prostupu tepla, oblasti kondenzace vodní páry a roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry v detailu. Zohledňuje postupy a požadavky ČSN 730540 (včetně ČSN 730540-2 z roku 2011), STN 730540 a EN ISO 10211.“

(7)

Program AREA 2017 nabízí:

- výpočet dvourozměrných polí teplot a částečných tlaků vodní páry metodou konečných prvků v souladu s EN ISO 10211
- rizika povrchové kondenzace podle ČSN 730540-2
- výpočet tepelné propustnosti a lineárního činitele prostupu tepla
- výpočet součinitelů prostupu tepla okenních konstrukcí podle EN ISO 10077
- výpočet oblasti kondenzace vodní páry v detailu
- výpočet roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry po měsících v souladu s EN ISO 13788
- rozsáhlé možnosti požadavky a vyhodnocení výsledků podle ČSN 73540 a STN 730540
- několik vzájemně propojených možností zadávání detailu do výpočtu (grafický editor, tabulkové zadávání, vytvoření dat z podkladního obrázku)
- rozsáhlou nápovědu s nabídkou doporučených hodnot
- katalogy stavebních materiálů, konstrukcí a okrajových podmínek pro snazší zadávání vstupních dat
- otevřený katalog stavebních detailů, z něhož lze snadno vybírat a následně upravovat již hotové detaily
- pomocné výpočty pro řadu zadávaných parametrů (např. pro tepelnou vodivost materiálů či faktor difúzního odporu)
- podrobný tisk protokolu o výpočtu ve formátu RTF s rozsáhlými možnostmi formátování
- bohaté grafické
- možnost importu CAD dat
- výpočet minimální vnitřní povrchové teploty a teplotního faktoru a posouzení

Zadané materiály:

Č.	Název	LambdaX	LambdaY	MUX	MUY	X1	X2	Y1	Y2
1	Železobeton 2	1.580	1.580	29	29	1	10	12	14
2	Železobeton 2	1.580	1.580	29	29	10	17	9	14
3	Lignopor 5+40+5	0.047	0.047	50	50	17	18	9	14
4	Zdivo CP 2	0.850	0.850	9.000	9.000	10	18	1	9
5	Zdivo CP 2	0.850	0.850	9.000	9.000	12	18	14	17
6	Pénový polystyr	0.044	0.044	50	50	1	12	14	15
7	Keramická izolace 2	0.050	0.050	11	11	1	12	15	17
8	Zdivo CP 2	0.850	0.850	9.000	9.000	12	13	14	15
9	Zdivo CP 2	0.850	0.850	9.000	9.000	12	13	15	17
10	Zdivo CP 2	0.850	0.850	9.000	9.000	12	18	17	19
11	Zdivo CP 2	0.850	0.850	9.000	9.000	12	13	17	19
12	Pénový polystyr	0.044	0.044	50	50	18	19	1	19

Poznámka: LambdaX a LambdaY jsou náčrtné hodnoty tepelné vodivosti materiálu ve směru osy X a Y ve 100% vlh. a 18% jsou náčrtné faktory difúzního odporu materiálu ve směru osy X a Y, X1 a X2 jsou čísla os ve směru osy X a Y1 a Y2 jsou čísla os ve směru osy Y vymezených zadanou oblastí.

Geometrie detailu a zadané podmínky:

Počet vertik. os: 19
Počet horizont. os: 19
Počet prvků: 945

Teplota **Odpor Ra**
 -15.0 ... -11.7
 -11.7 ... -8.3
 -8.3 ... -5.0
 -5.0 ... -1.6
 -1.6 ... 1.7
 1.7 ... 5.0
 5.0 ... 8.4
 8.4 ... 11.7
 11.7 ... 15.0
 15.0 ... 18.4

Soubor Úpravy Písmo Vyhodnocení



NEJHŘŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T _w [C]	T _{a,min} [C]	f,Rai [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{min} [C]
1	???	-14.99	1.000	??	---	---
2	???	11.73	0.743	??	---	---

Vysvětlivky:

T_w teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C

T_{a,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

f,Rai teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]

[rozdílné minimální povrchové teploty a vnější teploty podílený rozdíl vnější (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnější a vnější teplotu, program nominálně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnější teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota T_e = -15.0 C]

KOND. označuje vznik povrchové kondenzace

RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]

T_{min} minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

Poznámka: Zde uvedený výhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu a teplotu rosného bodu v omezeném prostředí.

TEPLOTNÍ POLE [C]:

-15.0 ... -11.7
 -11.7 ... -8.3
 -8.3 ... -5.0
 -5.0 ... -1.6
 -1.6 ... 1.7
 1.7 ... 5.0
 5.0 ... 8.4
 8.4 ... 11.7
 11.7 ... 15.0
 15.0 ... 18.4

• T_{air} = -14.99 C
 • T_{air} = 11.73 C

ODHAD ČÍSLY VÝPOČTU:

Součet tepelných toků: -0.0000 W/m
 Součet abs. hodnot tep. toků: 84.3092 W/m
 Podíl: -0.0000
 Podíl je menší než 0.001 - požadavek EN ISO 10211 je splněn.

Area 2017 EDU, (c) 2017 Svoboda Software

Soubor Úpravy Písmo Vyhodnocení

NEJHŘŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Ra [m ² K/W]	R.H. [%]	T _{a,min} [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	-15.0	0.04	???	-14.99	-42.15401	1.17096
2	21.0	0.25	???	11.73	42.15458	1.17096

Vysvětlivky:

T zadaná teplota v daném prostředí [C]

Ra zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m²K/W]

R.H. zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]

T_{a,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

Tep.tok Q hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m]

(hodnota je vtažena na 1m díky tepelnému toku, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)

Propust. L tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/mK]

(lze určit jen pro maximálně 2 prostředí, pro určité charakteristické výšky lze získat průměrný součinitel prostupu tepla vyčíslením hodnoty L, šířkou hodnoceného výseku konstrukce)

Izotermie:

-15.00 C
 -11.70 C
 -8.30 C
 -5.00 C
 -1.60 C
 1.70 C
 5.00 C
 8.40 C
 11.70 C
 15.00 C
 18.40 C



NEJHŘŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T _w [C]	T _{a,min} [C]	f,Rai [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{min} [C]
1	???	-14.99	1.000	??	---	---
2	???	11.73	0.743	??	---	---

Vysvětlivky:

T_w teplota rosného bodu v daném prostředí [C] - lze určit jen pro teploty do 100 C

T_{a,min} minimální povrchová teplota v daném prostředí [C]

f,Rai teplotní faktor dle ČSN 730540, EN ISO 10211 a EN ISO 13788 [-]

[rozdílné minimální povrchové teploty a vnější teploty podílený rozdíl vnější (21.0 C) a vnější (-15.0 C) teploty - přesně lze určit jen pro max. 2 prostředí a pro rozdílnou vnější a vnější teplotu, program nominálně určuje orientační hodnoty i pro více prostředí, přičemž se uvažuje vnější teplota podle daného prostředí a konstantní vnější teplota T_e = -15.0 C]

KOND. označuje vznik povrchové kondenzace

RH,max maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]

T_{min} minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [C] - platí jen pro případ dvou prostředí

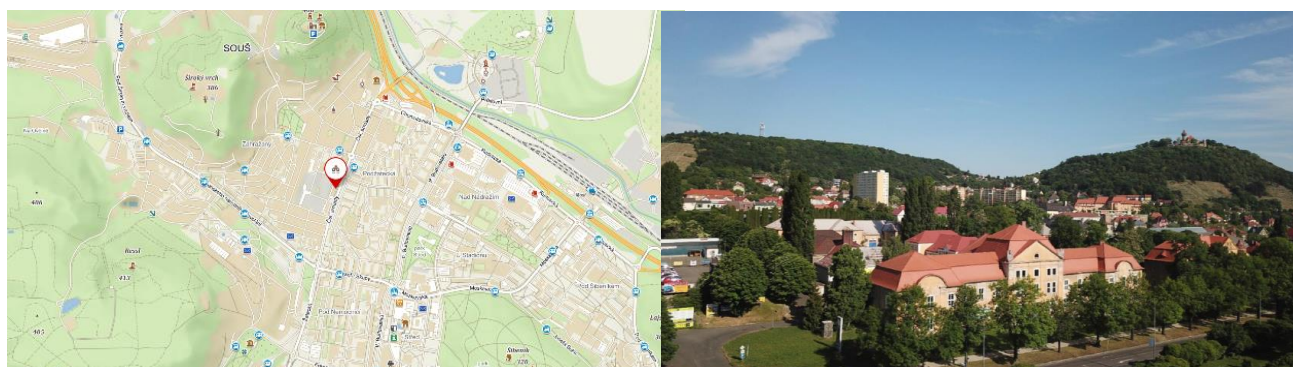
Poznámka: Zde uvedený výhodnocení rizika povrchové kondenzace neodpovídá hodnocení podle ČSN 730540-2. Program pouze porovnává teplotu povrchu a teplotu rosného bodu v omezeném prostředí.

Obrázek 12 – Ukázka grafických výstupů z programu Area EDU 2017

5 Praktická část

5.1 Stavebně historický průzkum objektu

5.1.1 Identifikace objektu



Obrázek 13 – Lokality stavby na mapě, panoramatická fotografie budovy, zdroj: vlastní

Celý areál Jezdeckých kasáren se nachází ve městě Most na severozápadě Čech, práce se zaměřuje jen na jednu z budov.

5.1.2 Historie objektu

Celý areál byl postaven v secesním stylu v letech 1906-1908 a měl sloužit jako zázemí pro dragounský pluk. O výstavbě se rozhodlo v roce 1906 a ještě v tom samém roce se začalo s výstavbou. V roce 1908 se do areálu přemístil Dragounský regiment císaře Františka Josefa I. a kasárna byla pojmenována Nová jezdecká kasárna jubilea Františka Josefa I.

Jezdecktvo v tomto objektu sloužilo do roku 1920, kdy bylo nahrazeno 9. střeleckým plukem Karla Havlíčka Borovského a v roce 1927 došlo ke změně názvu na Nové jezdecké kasárny Štefánikovy. Roku 1940 město převedlo kasárna na německý stát, po válce však byla smlouva prohlášena za neplatnou a v roce 1950 byla převedena na vojenskou správu. V období let 1951 a 1952 zde sídlil 59. Pomocný technický prapor, který sloužil jako vojenský tábor nucených prací, a to konkrétně prací stavebních. Po tomto období byla kasárna využívána do roku 1977 plukem protiletadlových dělostřelců. Mezi lety 1981 a 1990 zde sídlil 216. protitankový pluk a nakonec až do roku 1994 železniční vojsko. Tohoto roku armáda

kasárna definitivně opustila a od té doby většina budov chátrá, ačkoliv je ve vlastnictví soukromých osob.

Celý areál jezdeckých kasáren byl prohlášen národní kulturní památkou ke dni 14.11.2013. Tato ochrana se však vztahuje především na vnější část budovy, pro interiér nemají památkáři žádné zvláštní požadavky.

Technická stavební dokumentace z doby realizace není podrobná, nelze z ní kupříkladu vyčíst skladby konstrukcí nebo způsoby zajištění proti pronikání zemní vlhkosti. Tyto dva faktory budou tedy zjištěny ve stavebně technickém průzkumu a následně implementovány pro vytvoření vyhovujících řešení pro možnost užívání budovy dle současných kritérií.

5.1.3 Popis objektu z architektonického hlediska

Dům č.p. 1283 byl postaven jako budova mužstva. Zděná patrová stavba obdélného půdorysu s mělkými rizality po obou stranách podélných fasád a hlubším vyšším schodišťovým rizalitem v ose dvorní fasády je provedena v poměrně prostém historizujícím slohu. Fasáda je členěna pilastry s volutovými hlavicemi a kladím. Krov na mansardový, vaznicové soustavy. Nad severní částí objektu a středním rizalitem je po opravě krovu položena nová pálená taška typu bobrovka. Výrazným zdobným prvkem fasády je ostění oken a dveří, které je tvořeno bílými vápenopískovými cihlami tvořícími záklenky se zvýrazněnými klenáky. Ostění je osazeno na cihelném profilovém parapetu. Po stranách ústředního tympanonu se nacházejí busty s trofejemi, jinak je budova bez výzdoby.

5.2 Stavebně technický průzkum objektu

5.2.1 Geologické a hydrogeologické podmínky



Obrázek 14 - Geologická a radonová mapa (8)

Celý areál Mosteckých kasáren je situován v mírně svažitém terénu pod znělcovými kopci Hněvín a Široký vrh. Zóna pod třetihorními geologickými útvary je tvořena čtvrtohorními (pleistoceními) horninami. Jedná se o spraše a sprašové hlíny, které vznikaly svahovými procesy a svahovou modelací.

„Jedná se o hydrogeologický rajón č. 2131 podle hydrogeologické rajonizace dané vyhláškou č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod. Podzemní vody se v této oblasti kumulují v základní vrstvě v terciérních a křídových pánevních sedimentech. Hladina podzemní vody se v místě stavby a pod ní pohybuje okolo 3 m pod úrovní terénu v ustálené výšce.“ (8)

Podle radonové mapy je radonový index s převažující hodnotou 1, tedy mírné radonové nebezpečí.

5.2.2 Popis konstrukcí objektu

Mapovaný objekt má celkem 3 nadzemní podlaží. První a druhé NP se rozprostírají po celé půdorysné ploše. Třetí podlaží tvoří pouze středová část, zbylá křídla obsahují jen nosnou konstrukci krovu, v minulosti však tato plocha neměla trvalé využití. Nad obývanou plochou 3.NP se nachází ještě vrchlík, do kterého však nebyl stálý přístup. Dále je objekt částečně podsklepen, má tedy také 1 podzemní podlaží, zde byla umístěna jímka na vodu a sklepní kóje. Střešní konstrukci tvoří mansardový krov s krytinou z pálených bobrovek pokládaných šupinovým krytím.

Základové konstrukce

Budova je založena na kombinovaných kamenných a zděných základových pasech, které se nacházejí pod všemi nosnými stěnami. Podlaha je izolována proti zemní vlhkosti asfaltovými pásy. V oblasti pod schodištěm jsou základové pásy přerušeny a nachází se zde jímka, která je překlenutá ocelovými nosníky a vynáší tak část budovy.

Svislé konstrukce

Jedná se o zděnou stavbu z plných cihel klasických výrobních rozměrů (290x140x65 mm). Tloušťka obvodových nosných stěn je 600 mm, vnitřní stěny od 450 do 750 mm a příčky 300 mm. Světlá výška podlaží je 3490 mm. Objekt není zateplen. Na vnější fasádě se mezi okny v jednotlivých podlažích nacházejí ozdobné prvky ve formě ornamentů. Z exteriérové části je obvodová stěna opatřena kamenným obkladem do výšky 1 m nad terénem. Zhruba 1 m pod hranou okapového žlabu se na fasádě nacházejí dekorativní římsy.

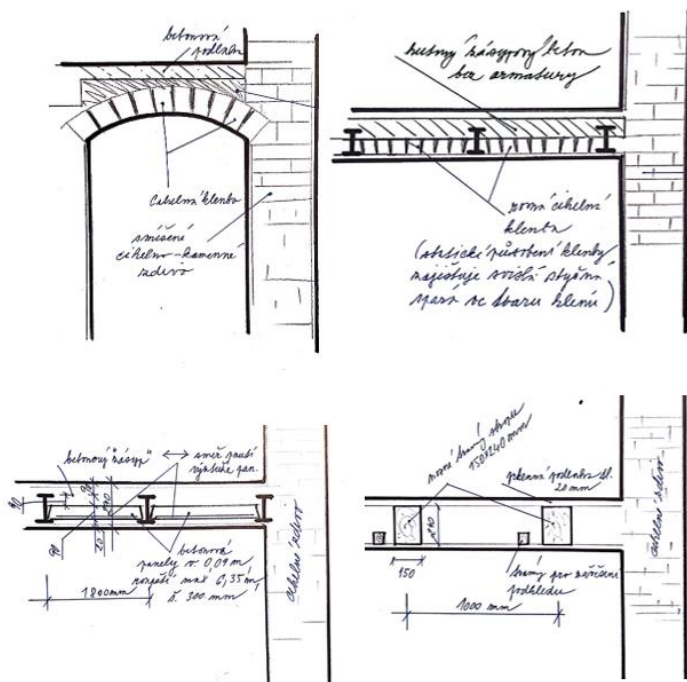
Vodorovné konstrukce



Obrázek 15 – Vyznačení umístění jednotlivých typů stropních konstrukcí v objektu, zdroj: vlastní

obr. č. 14:

- Modrá barva označuje stropní konstrukci s plochou zděnou klenbou zaklesnutou do ocelových I profilů.
- Zelená barva označuje dřevěné stropy
- Červenou barvou jsou vyznačeny stropy skládané z ocelových nosníků a betonových panelů položených na spodní pásnice profilů



obr. č. 16:

- Stropy nad podzemním podlažím jsou tvořeny zděnou klenbou.
- strop z ploché zděné klenby zaklenuté do ocelových I profilů, na klenbě je zásyp a na něm 5-7 cm silná nevyztužená betonová deska. Osová vzdálenost ocelových profilů je převážně 1700 mm. Konstrukce je ze spodní strany omítnuta omítkou. Rozpětí stropů je od 2,2 do 6,15 m.
- V části budovy je použit skládaný strop z ocelových I profilů a

Obrázek 16 – Řezy jednotlivými stropními konstrukcemi, zdroj: vlastní

betonových panelů položených na spodní pásnice profilů. Osová vzdálenost nosníků je 1800 mm, betonové panely jsou šířky 300 mm a výšky 90 mm. Rozpětí stropů je v rozpětí od 2,2 do 6,35 m.

- Stropy jsou tvořené dřevěnými nosnými trámy. V současnosti je strop tvořen pouze těmito trámy a scházejí veškeré pochozí vrstvy.

Krov a střešní krytina

Nosná konstrukce střechy je nově zrekonstruovaná. Nacházejí se zde jak původní prvky, tak i zcela nové, které nahradily degradované prvky, jež ohrožovaly stabilitu konstrukce. Konstrukce je historická, mansardová. Krytina je z pálených bobrovek pokládáných „na šupinu“. U všech exponovaných prvků je provedeno oplechování v barvě střechy.

Absence střechy byla na budově po dlouhá léta nejtěžším problémem, kvůli dešťové vodě zatékající do budovy bylo poškozeno mnoho konstrukcí, včetně trámových stropů, stěn a vnitřních i vnějších omítek. Nová konstrukce střechy je na budově teprve druhým rokem, ale i za tak krátkou dobu lze na objektu pozorovat zlepšení, minimálně zastavení další degradace. Je již také patrné, jak moc zatékající voda poškodila zmíněné konstrukce a lze tedy sčítat škody, které jsou nemalé.



Obrázek 17 – Střecha a krov, stav po a před rekonstrukcí, zdroj: vlastní

Výplně otvorů

Objekt byl před zakoupením novými majiteli kompletně bez oken, s výjimkou jednoho zachovalého původního okna, které sloužilo jako podklad pro výrobu replik. V současné době bylo v objektu namontováno 2/3 okenních celků. Z exteriérové strany jsou kolem oken bílé šambrány.

Dveřní otvory v obvodových stěnách jsou zazděny. Do budovy je zprovozněn pouze jeden vstup, kde jsou umístěny provizorní dveře.

5.2.3 Stavebně technický stav jednotlivých konstrukcí

Rok po prohlášení kulturní památkou došlo k zahájení významné rekonstrukce střechy. V průběhu let totiž byla odcizena krytina (byla tvořená plechovými díly). Chybějící krytina zapříčinila, že do budovy po několik let zatékalo (doslova pršelo) přímo na dřevěnou konstrukci mansardového krovu. To zapříčinilo rozvoj dřevokazných hub, což bylo prokázáno mykologickým rozbořem prováděným v létě 2014. Tyto houby způsobily uhnití zhlaví několika nosných stropních trámů a jejich následné propadnutí.

Budova s číslem popisným 1283 je ale i tak stále v dezolátním stavu, za léta, kdy byla opuštěna, se z budovy stalo útočiště lidí bez domova, ti zřejmě budovu postupně rabovali a vše, co bylo jakýmkoliv způsobem cenné bylo odcizeno, vzhledem ke konstrukcím budovy často i velmi destruktivně. Veškeré ocelové prvky, například ocelové dveřní a okenní překlady byly vytrhány a taktéž všechny ostatní prvky z dalších kovů.

V současné době je objekt nejvíce sužován přítomností zemní vlhkosti, špatným stavem stropních konstrukcí a vertikální trhlinou táhnoucí se všemi patry v oblasti schodiště. Toto jsou hlavní problémy budovy z hlediska stavebně technického, mimo jiné, méně významné, které nemají vliv na samotnou existenci budovy. Právě tyto tři problémy budou stěžejním bodem práce.

Svislé konstrukce

Ve svislých stěnách se nahromadilo větší množství problémů, které mohou mít zásadnější vliv na stabilitu budovy.

Svislá trhlina



Obrázek 18 – Svislá trhlina v nosné stěně, zdroj: vlastní

V oblasti schodiště se line trhlina od přízemí až po nejvyšší podlaží. Nachází se jak ve svislých stěnách, tak i na stropu. Trhlina se s rostoucí výškou mírně rozšiřuje. Dá se tedy usoudit, že se budova „rozevívá“. Příčinou může být diskontinuita v základovém pase způsobená přítomností odpadní jímky, která se nachází právě v části budovy pod schodištěm. Jímka může vykazovat jinou rychlost sedání, případně je zemina v oblasti více vlhčí v důsledku netěsnosti jímky nebo, a to je spíše faktem, že tato odpadní jímka byla po dlouhá léta zatopena vodou, která se postupem času vzlínala a dále rozšiřovala do vyšších míst a konstrukcí.

Vytrhané překlady



Obrázek 19 – Chybějící překlad nad průchodem, zdroj: vlastní

Nad otvory v interiéru budovy byly téměř ve všech případech vytrhány překlady (což do jisté míry vypovídá o intelektu zlodějů). Překlady byly dočasně nahrazeny ocelovými nosníky.

Vlhkost obvodových stěn



Obrázek 20 - Degradace venkovní fasády, zdroj: vlastní

Vnější fasáda byla realizována jako vápenná omítka se vzdušným vápnem jako pojivem. Fasádní vrstva je jako taková pevná, kompaktní a soudržná. Ovšem po několika desítkách let, kdy byla vystavena chátrání a postupné degradaci střešní krytiny a posléze kompletní absencí střešního pláště, je fasáda ve velmi špatném stavu. Velké soudržné plochy opadaly či se odpojily od stěn.

Vodorovné konstrukce



Obrázek 21 – Fotografie každého ze 4 druhů stropních variant v objektu, zdroj: vlastní

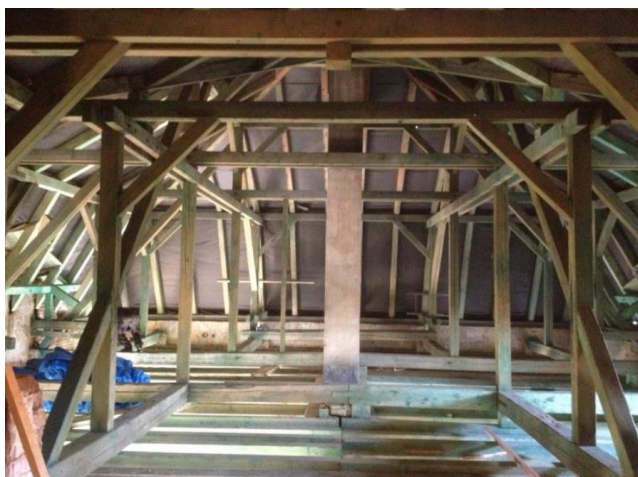
V místech, kde se nachází plochá zděná klenba, došlo k lokálnímu poškození omítky i cihel odpadnutím celé spodní části. Zároveň jsou rzi poškozené i ocelové nosníky.

Z dnešního technického pohledu je toto řešení zastaralé, v současnosti by betonová deska musela obsahovat alespoň základní výztuž a pravděpodobně by byla smykově spojena s ocelovými nosníky. V současnosti je tak nosným prvkem ztracené cihelné bednění, které je však vlivem působení zatékající vody výrazně poškozeno a vyžaduje si z bezpečnostního hlediska úplnou náhradu stropní konstrukce

Dalším druhem stropní konstrukce v objektu jsou trámové stropy. Trámy stropů byly poničeny dlouhotrvajícím působením dešťové a zatékající vody. Vysoká vlhkost ve dřevě zapříčinila vznik dřevokazných hub a tím degradaci dřeva a ztrátu únosnosti stropu.

Třetím typem stropních konstrukcí v objektu jsou cihelné klenby situované jen v suterénu a panelové železobetonové stropy, které ovšem nejsou původní, byly dodatečně realizovány v 70. letech v období socialismu.

Krov a střešní krytina



V současnosti je krov a celá konstrukce střechy ve výborném stavu. Mnoho prvků krovu bylo vyměněno za nové.

Obrázek 22 - Pohled na krov, zdroj: vlastní

Výplně otvorů

Veškeré původní otvory byly v průběhu let zničeny. V současnosti se v některých oknech nachází rámy z posledních let. Normalizovaná okna neodpovídala výšce otvoru, proto jsou u parapetu dozděná. Tato vrstva cihel se musí před náhradou oken odstranit. Nejedná se o klasickou poruchu, nicméně by na tuto okolnost nemělo být zapomenuto. Při výrobě prvního vzorového okna nebyl tento fakt ještě znám.

Vnitřní omítky



Jak je patrné z obrázků, na stavu vnitřních omítek se podepsalo mnohaleté působení vnějších klimatických vlivů z důvodů absencí okenních výplní, kdy uvnitř stavby panovaly téměř stejné podmínky jako vně.

Vápenné omítky jsou místy opadané jak na stropě, tak na stěnách. Malba je zachovalá jen na některých stěnách a to jen částečně, jinde je zcela zničená.

Obrázek 23 – Stav vnitřních omítek, zdroj: vlastní

5.2.4 Vlhkostní průzkum

Vlhkost zdiva

Na objektu se dají rozlišit tři hlavní příčiny vzniku vlhkosti na fasádě.

Prvním a nejzávažnějším důvodem byla dlouhodobá nepřítomnost funkční střechy jako celku, tím dešťová voda volně dopadala na vnitřní svislé i vodorovné konstrukce, stékala po fasádě a zatékala do říms a jiných míst. Na obrázcích jsou poruchy fasády z těchto příčin vyznačeny oblastmi se světle modrou barvou.

Druhou příčinou byla - a na některých místech stále je - absence dešťových svodů nebo jejich netěsnost ve spojích jednotlivých trubek. Z toho důvodu, dešťová voda stékala přímo po fasádě. V současné době také stav svodů není ideální. Jsou sice svedeny až k zemi, nejsou však napojeny na dešťovou kanalizaci a voda se tak zasakuje v těsné blízkosti stavby. Na grafickém znázornění je vlhkost od nefunkčních svodů znázorněna oblastmi s červenou barvou.

Vzlínání vlhkosti je dalším velkým problémem stavby, ta se vyskytuje po celém obvodu objektu, kdy nad kamenný sokl dosahuje vlhkost až do několikametrové výšky, celý sokl s původním kamenným obkladem je nasáklý vodou, která se kumuluje kolem stavby z různých příčin. Vzlínání vody je také problém podsklepené části objektu, kdy do obvodových stěn proniká vlhkost ze země, přes kamenný základový pás a z boků. Stavba není opatřena hydroizolací. Viz. zeleně vyšrafované oblasti na následujícím obrázku.

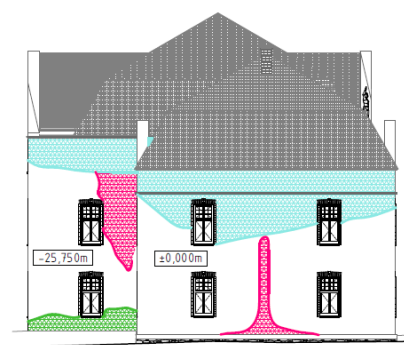
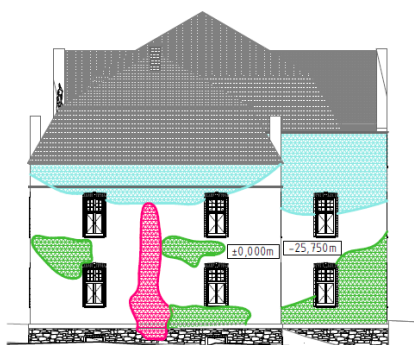
Znázornění příčin vlhkosti fasády



Obrázek 26 - Západní pohled - příčiny vzniku vlhkosti na fasádě, zdroj: vlastní



Obrázek 25 – Východní pohled - příčiny vzniku vlhkosti na fasádě, zdroj: vlastní



Obrázek 24a – Severní a jižní pohled - příčiny vzniku vlhkosti na fasádě, zdroj: vlastní

	VLHKOST ZPŮSOBENÁ ZATÉKÁNÍM VODY V OBDOBÍ KDY NA OBJEKTU CHYBĚLA STŘECHA
	VLHKOST FASÁDA ZPŮSOBENÁ NESPRÁVNÝM UKONČENÍM DEŠŤOVÝCH SVODŮ
	VLHKOST ZPŮSOBENÁ PRAVDĚPODOBNĚ VZLÍNÁNÍM VODY Z PODLOŽÍ

Salinita vnějšího zdiva

Salinita zdiva byla měřena odborníky z Národního památkového ústavu a její výsledky jsou v práci uvedeny v **příloze č. 1**.

Vlhkost vnitřního zdiva

Vnitřní problémem je především u podzemního patra budovy, zejména v místě jímky na vodu pod hlavním schodišťovým traktem. Pro budoucí rekonstrukci bude stěžejní zbavit se příčin této vlhkosti a odstranit doposud vzniklé následky.

Důležité je tyto původní materiály a prvky v co největší možné míře zachovat i nadále, neboť zvyšují památkovou hodnotu objektu a jsou jedinečným zdrojem informací o jeho historii.

5.3 Mapování a řešení konkrétní závady

Po zmapování celého objektu kasáren v Mostě bylo důležité určit a lokalizovat problém stavebních konstrukcí, který pro svůj lokální charakter ovlivňuje daleko větší část stavby a je tudíž oním stěžejním problémem, který je nezbytné vyřešit, aby se rekonstrukce celého objektu mohla začít ubírat správným směrem a aby bylo, pokud možno, zamezeno nežádoucím překvapením vyplývajícím z nevhodně a neodborně zvoleného postupu sanačních prací, tj. například opomenutí daleko závažnějších příčin degradace stavebních konstrukcí a upřednostnění jiných, méně důležitých, v celkovém kontextu však významnějších.

Takovýmto místem jsou sklepní prostory budovy, tyto prostory byly stavěny za účelem zřízení skladů a míst pro technické zázemí budovy, jako je kotelna, sklad uhlí a věcí s tím spojené. Nebyly tedy dimenzovány na stálý pobyt osob a už vůbec ne na kvalitu prostředí z hlediska vlhkosti a tepla.

Podsklepená část objektu není opatřena funkční svislou ani vodorovnou hydroizolací a podle průzkumů na stavbě nebyla řešena ani varianta odizolování spodní stavby z hlediska negativních účinků spodní vody, zemní vlhkosti a dešťů, například jílovými vrstvami, které by distribuci vlhkosti do konstrukcí mohly značně omezit.

5.3.1 Lokalizace místa vážného narušení objektu vlhkostí

Konkrétní místo pro vypracování návrhu sanací bylo zvoleno na základě znatelných vlhkostních map tvořených na vodorovných a svislých površích, v blízkosti sklepního okna, které je příčinou pronikání vody do konstrukce v důsledku ztráty těsnosti zchátráním budovy. Místo je zajímavé také tím, že je na pomezí mezí sklepní částí, která je v přímém styku s exteriéreními podmínkami, tj. je v kontaktu se zemínou, na kterou působí vlivy venkovního počasí a zemínou, která se nachází pod základovou deskou prvního nadzemního patra budovy. Nepůsobí na ni tedy vlivy exteriérení.

Pro zjevnou závažnější zničenost tohoto prostoru byl vypracován detail v místě kontaktu se zemínou, na kterou vlivy venkovního prostředí přímo působí, a ještě není přímo ovlivněn negativními účinky pronikání vody okenním otvorem. Je tedy v dostatečné vzdálenosti od něj.

5.3.2 Měření vlhkosti v místě problému

Měření bylo provedeno s pomocí elektrického odporového vlhkoměru s okamžitě dostupnými výsledky měření. Na vytypovaných konstrukcích se provedla série jednotlivých měření v referenčních výškách od podlahy, od stěny, od terénu v závislosti na místě a druhu konstrukce, na které se vlhkosti zjišťovala. Výsledky měření byly zaznamenány a graficky znázorněny v pohledech a půdorysech.



Obr. č. 27: Detektor vlhkosti MD. Pro měření vlhkosti ve dřevě nebo stavebních materiálech jako např. beton, cihly, dlažba, sádrokarton, tapety apod. Rozsah měření 5 až 50 % pro dřevo, resp. 1,5 až 33 % u stavebních materiálů, s přesností měření 3 %.. Zobrazení na velkém LCD displeji. Zdroj: (9)

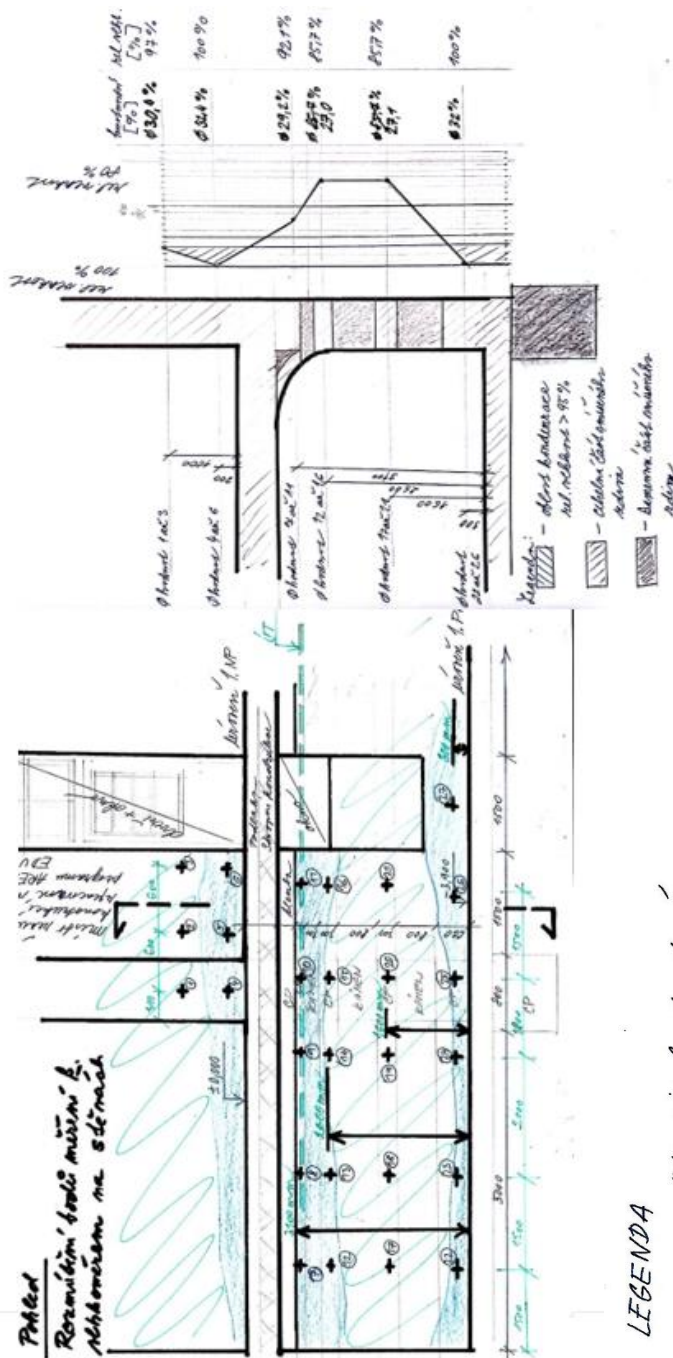
Obrázek 27 - Měřič vlhkosti dřeva a stavebních materiálů (9)

Měření vlhkostí na konstrukci dokumentují názorné výsledky z několika míst odběru. Jednotlivých měření bylo provedeno mnoho na různých konstrukcích. V první řadě byly naměřeny hodnoty na viditelně zavlhlé suterénní stěně objektu.



Obrázek 28 – Fotografie z měření na stavbě. Zdroj vlastní

Grafický záznam z 1. měření – stěna suterénu



Obr. č. 28: Pro měření na svislých konstrukcích v interiéru stavby byla vynesena vlhkostní křivka po výšce od nejvyššího po nejnižší měření (obrázek řezu). Výsledkem jsou dvě vyšrafované oblasti, které značí místa pravděpodobné kondenzace vodní páry v konstrukci.

Obrázek 29 – Pohled na stěnu suterénu a 1.NP – poloha měření, zdroj: vlastní

V grafickém výstupu 1. měření (obr. 28) je znázorněná přibližná poloha jednotlivých měření s odkazem na naměřené hodnoty udávané v hmotnostních procentech.

Jednotlivé body měření jsou prostorově okóтовané a opatřené číselným odkazem na naměřenou hodnotu ve vypracované tabulce.

Na základě znalosti procentní hmotnostní vlhkosti v jednotlivých bodech byl vypracován průměr hodnot v jedné rovině, která byla zanesena do vlhkostní křivky po výšce 1. podzemního podlaží a částečně 1. nadzemního.

Místo řezu stavbou je zvýrazněno přerušovanou čarou, bylo vypracováno modelování v programu Area EDU, které slouží jako demonstrativní příklad pro návrh sanačních opatření s detailním posouzením. Jednotlivé body měření jsou prostorově okóтовány.

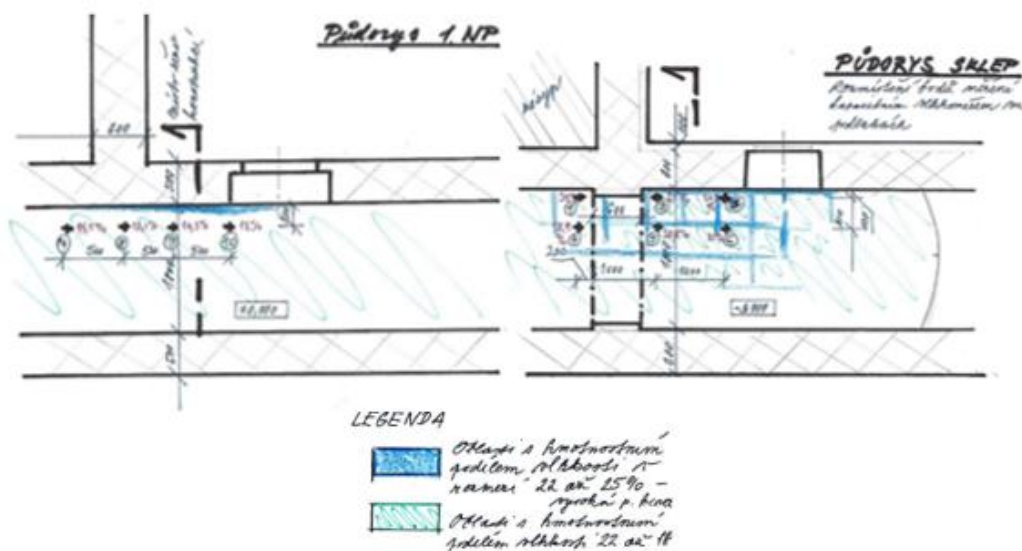
Tabulka 7 – Měřené hodnoty hm. vlhkostí v bodech viz. obrázek č. 29, zdroj: vlastní

Body a jejich naměřené hm.% vlhkosti					
Pohled na stěnu v podélném řezu					
č. Bodu	hmotnostní procento [%]	rel. Vlhkost [%]	č. Bodu	hmotnostní procento [%]	rel. Vlhkost [%]
1	31		14	19,7	
2	30,5		15	30,1	
3	29,8		16	33	
∅	30,4	96,83%	∅	27,0	85,71%
4	33		17	21,9	
5	32,8		18	24,2	
6	31,5		19	27,8	
∅	32,4	100,00%	20	31,5	
7	31		21	30,3	
8	28,5		∅	27,1	85,71%
9	28,8		22	29,8	
10	27,8		23	31,3	
11	30		24	33	
∅	29,2	92,06%	25	33	
12	27		26	33	
13	25,2		∅	32,0	100,00%

Grafický záznam z 2. měření – podlaha suterénu a 1. nadzemní podlaží

Dále bylo zapotřebí naměřit hodnoty na podlahách. Místa vyznačená modrou barvou názorně ukazují vlhkostní mapy, zřejmě z příčin vztlínání vody z podzákladí nebo zatékající vody na straně exteriéru. Čísla u jednotlivých měření jsou také uvedena v tabulce č. xxx

Hmotnostní % vlhkosti naměřené v modrých oblastech bylo vždy v rozmezí 30 až 33, tedy hodnoty blíží se v přepočtu na relativní % vlhkosti hodnotě 100%.



Obrázek 30 – Zaznamenaná poloha jednotlivých měření – podlaha, zdroj: vlastní

Tabulka 8 – Měřené hodnoty hm. vlhkostí v bodech, viz. obr. č. 30, zdroj: vlastní

Body a jejich naměřené

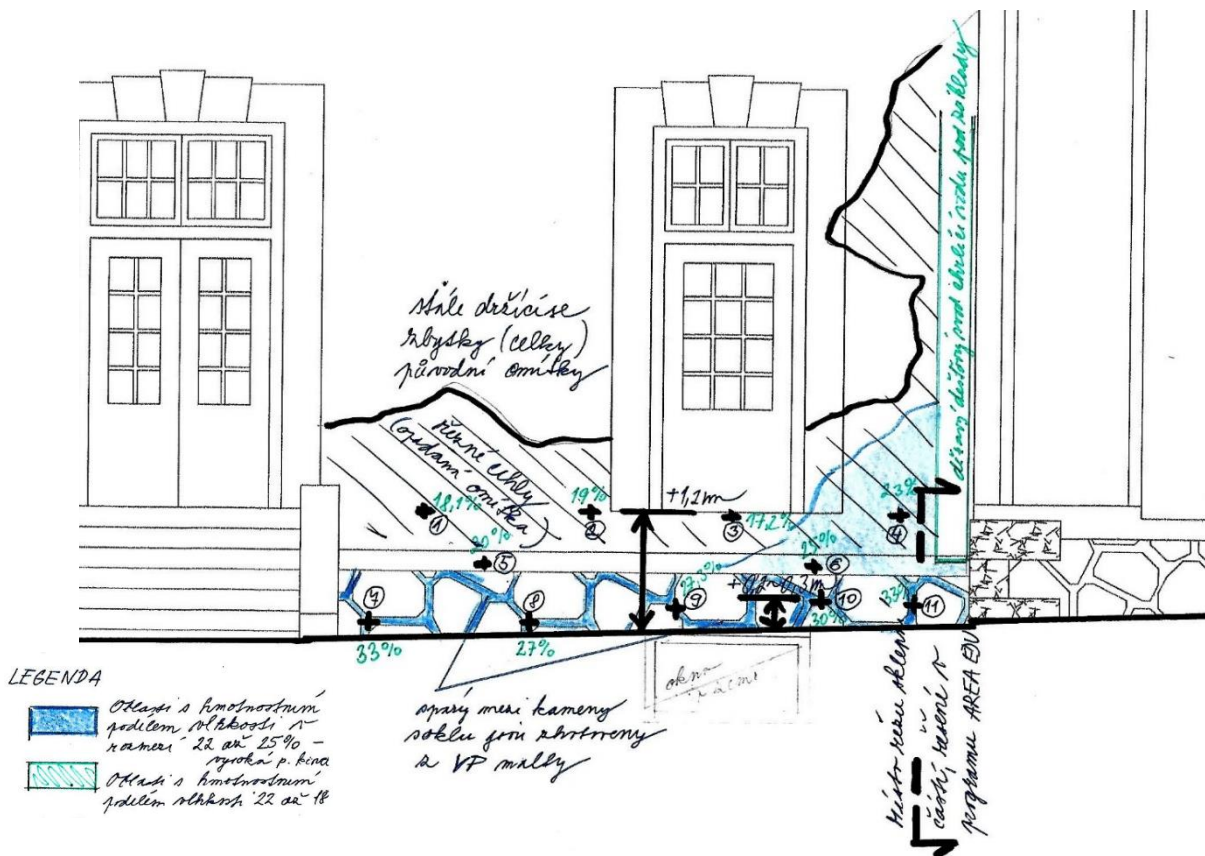
hm.% vlhkosti

Pohled na exteriérní stranu

Č. Bodu	hmotnostní procento [%]
1	18,1
2	19
3	17,2
4	23
5	20
6	25
7	33
8	27
9	27,3

Grafický záznam z 3. měření – sokl a místa na stěně s opadanou omítkou v exteriéru

Venkovním pohledem je pro přehlednost zvýrazněno také přerušovanou čarou místo řezu stavbou, ve kterém bude v programu Area EDU vypracován vlhkostní model. Tento model může posloužit jako demonstrativní příklad pro návrh sanačních opatření ve zbylých místech suterénu. Naměřené hodnoty jsou opět uvedeny v následující tabulce.



Obrázek 31 – Pohled z exteriéru na vyznačené body měření, zdroj: vlastní

Tabulka 9 - Hodnoty měření na straně exteriéru, zdroj: vlastní

Body a jejich naměřené hm.% vlhkosti	
Pohled na exteriérní stranu	
č. Bodu	hmotnostní procento [%]
1	30
2	25
3	24,5
4	18,9
5	20,8
6	21,6
7	11,5
8	12,1
9	14,3
10	12

Tabulka 10 – Závislost hm. a rel. % vlhkosti materiálu – **pálená cihla**, zdroj: vlastní

Hustota	Naměřená hodnota vlhkosti	Hmotnostní procento vlhkosti	Objemové procento vlhkosti	Relativní vlhkost
kg/m ³	hm %	kg	obj %	%
1700	31,5%	535,5	54%	100%
1700	31,0%	527	53%	98%
1700	30,5%	518,5	52%	97%
1700	30,0%	510	51%	95%
1700	29,5%	501,5	50%	94%
1700	29,0%	493	49%	92%
1700	28,5%	484,5	48%	90%
1700	28,0%	476	48%	89%
1700	27,5%	467,5	47%	87%
1700	27,0%	459	46%	86%
1700	26,5%	450,5	45%	84%
1700	26,0%	442	44%	83%
1700	25,5%	433,5	43%	81%
1700	25,0%	425	43%	79%
1700	24,5%	416,5	42%	78%
1700	24,0%	408	41%	76%
1700	23,5%	399,5	40%	75%
1700	23,0%	391	39%	73%
1700	22,5%	382,5	38%	71%
1700	22,0%	374	37%	70%
1700	21,5%	365,5	37%	68%
1700	21,0%	357	36%	67%
1700	20,5%	348,5	35%	65%
1700	20,0%	340	34%	63%
1700	19,5%	331,5	33%	62%
1700	19,0%	323	32%	60%
1700	18,5%	314,5	31%	59%
1700	18,0%	306	31%	57%
1700	17,5%	297,5	30%	56%
1700	17,0%	289	29%	54%
1700	16,5%	280,5	28%	52%
1700	16,0%	272	27%	51%
1700	15,5%	263,5	26%	49%
1700	15,0%	255	26%	48%
1700	14,50%	246,5	25%	46%
1700	14,00%	238	24%	44%
1700	13,50%	229,5	23%	43%
1700	13,00%	221	22%	41%
1700	12,50%	212,5	21%	40%
1700	12,00%	204	20%	38%
1700	11,50%	195,5	20%	37%
1700	11,00%	187	19%	35%
1700	10,50%	178,5	18%	33%
1700	10,00%	170	17%	32%
1700	9,50%	161,5	16%	30%
1700	9,00%	153	15%	29%
1700	8,50%	144,5	14%	27%
1700	8,00%	136	14%	25%
1700	7,50%	127,5	13%	24%
1700	7,00%	119	12%	22%
1700	6,50%	110,5	11%	21%
1700	6,00%	102	10%	19%
1700	5,50%	93,5	9%	17%
1700	5,00%	85	9%	16%
1700	4,50%	76,5	8%	14%
1700	4,00%	68	7%	13%

poznámka:

barevná pole korespondují s barvami polí v tabulce č.7 a označují převod hmotnostních procent vlhkosti na relativní v závislosti na materiálu

Tabulka 11 - Závislost hm. a rel. % vlhkosti materiálu - **čedič**, zdroj: vlastní

čedič	2700	kg/m ³		
Hmotnost	naměřená hodnota vlhkosti	hmotnostní procento vlhkosti	objemové procento vlhkosti	relativní vlhkost
kg/m ³	hm %	kg	obj %	%
2700	1,00%	27	2,70%	100%
2700	0,95%	25,65	2,57%	95%
2700	0,90%	24,3	2,43%	90%
2700	0,85%	22,95	2,30%	85%
2700	0,80%	21,6	2,16%	80%
2700	0,75%	20,25	2,03%	75%
2700	0,70%	18,9	1,89%	70%
2700	0,65%	17,55	1,76%	65%
2700	0,60%	16,2	1,62%	60%
2700	0,55%	14,85	1,49%	55%
2700	0,50%	13,5	1,35%	50%
2700	0,45%	12,15	1,22%	45%
2700	0,40%	10,8	1,08%	40%
2700	0,35%	9,45	0,94%	35%
2700	0,30%	8,1	0,81%	30%
2700	0,25%	6,75	0,67%	25%
2700	0,20%	5,4	0,54%	20%
2700	0,15%	4,05	0,40%	15%
2700	0,10%	2,7	0,27%	10%
2700	0,05%	1,35	0,13%	5%
2700	0,00%	0	0,00%	0%

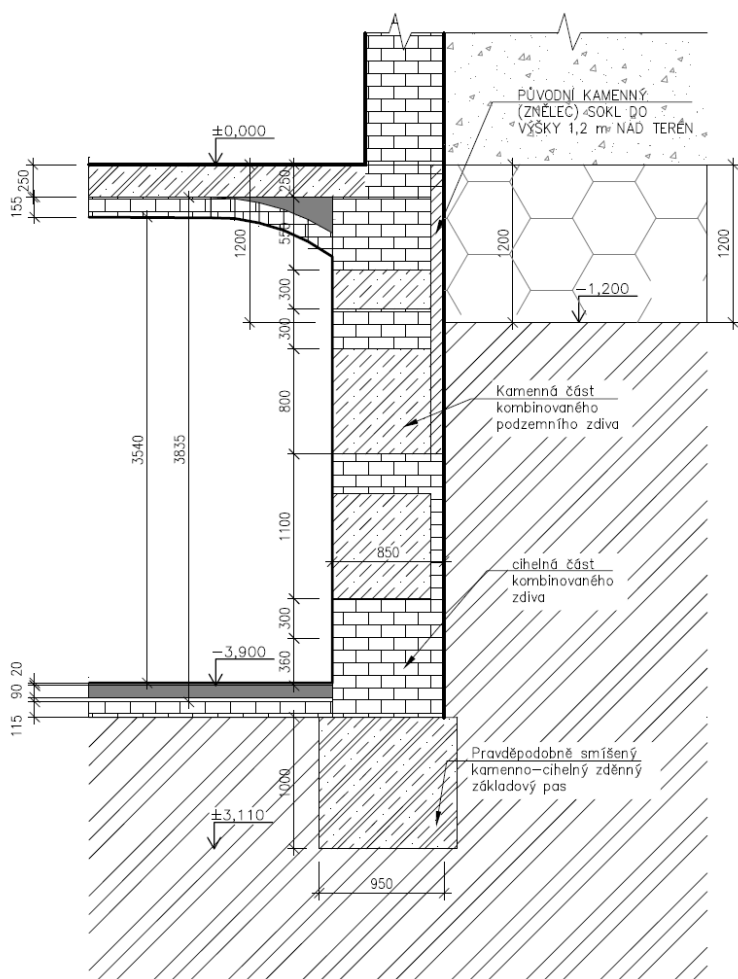
5.3.3 Modelace stavu ze známých faktů



Obrázek 32 - fotografie místa měření, výsledek měření, zdroj:
vlastní

Pro vypracování modelu v počítačovém programu je nutné znát přesné rozměry konstrukcí, skladbu materiálů a jejich stavebně fyzikální vlastnosti. Fyzikální, tepelné a difúzní vlastnosti materiálů jsou známy a generuje je program sám ze svých databází, hodnoty vlhkostního stavu konstrukce, klima vnitřního prostředí a skladbu stavebních konstrukcí je třeba zjistit přímo na místě měření.

Geologie a hydrogeologie podloží byla zjištěna již ve stavebně technickém průzkumu.



Obrázek 33 – Detail skladby konstrukce v místě příčného řezu řešeného detailu

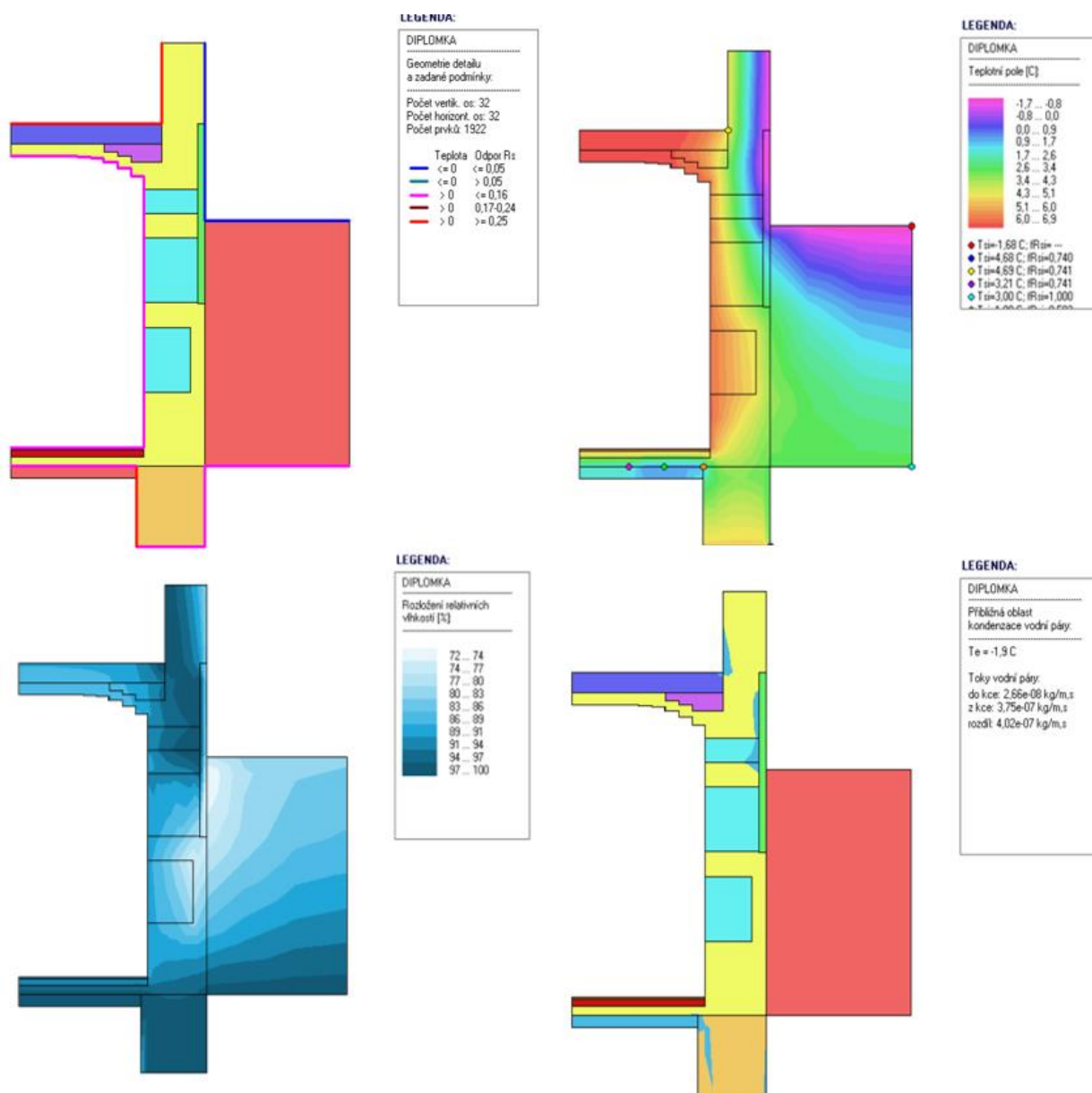
betonová dlažba čtvercového formátu.

Objekt není opatřen svislou hydroizolací žádného typu a stejně tak je tomu v podlahách suterénu. Jediným opatřením proti zemní vlhkosti je zde velká tloušťka stěny. Objekt je založen nad ustálenou hladinou podzemní vody, není tedy namáhán žádným hydrostatickým tlakem.

Na podkladu výše uvedeného měření vlhkosti a znalosti konstrukce byl mnou vypracován model detailu v programu Area EDU.

obr. č. 14: Konstrukční systém spodní stavby objektu je kombinovaný, střídají se zde vrstvy z pálených cihel a kamenného zdiva z čediče nebo znělce. Sokl je tvořen kamenným obkladem a sahá do výšky cca 1,2m nad okolní terén a zasahuje taktéž do hloubky 0,5 m pod terén. Stropní konstrukce podzemního podlaží je klenutá a vyzděná z pálených cihel. Podlaha suterénu je složena z vrstvy pálených cihel klasického formátu poskládaných na výšku a betonového zasypu výšky 0,1 m, navrchu je do betonu položena

Model stávajícího stavu konstrukce



Obrázek 34 – Grafický výstup nekalibrovaného modelu

obr. č. 34

Z výsledků výpočtu programu je patrné, že zadáním okrajových podmínek známých teplot a vlhkostí vzduchu nebylo dosaženo skutečného stavu zavlhčení konstrukce.

Z toho plyne, že do systému vstupuje další faktor, a tím je zatékající voda, případně voda vztlínající. Týká se to především místa v patě podzemního patra, kde se v reálu vyskytuje vlhkost v rohu a v ploše podlahy. Dále jsou podle měření zavlhčeny také obvodové stěny do vyšší úrovně, než vykazují výsledky výpočtu.

Konec komentáře k obrázku.

Pro použitelný návrh sanace suterénu budovy bylo zapotřebí přesně zmapovat jednotlivé vrstvy zdiva a pro vybrané místo vypracovat jejich grafické znázornění. Po přenesení dat do programu Area EDU 2017, s důrazem na skutečné rozměry jednotlivých vrstev smíšeného zdiva a volbu odpovídajících materiálů a jejich stavebně fyzikálních vlastností, byla vypracována roční vlhkostní a teplotní bilance.

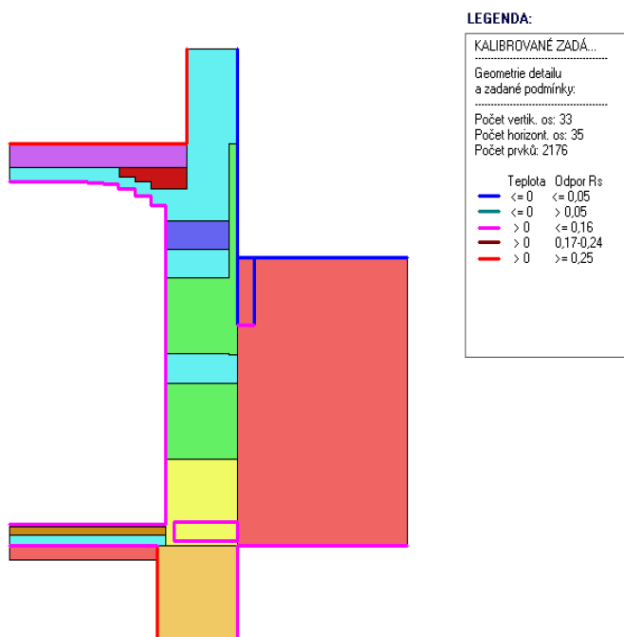
Ovšem přenesení těchto elementárních faktů nestačilo k tomu, aby program vygeneroval výsledek odpovídající skutečnostem na stavbě (fotografie, měření), který jasně odhalují vlhkostní mapy a místa se 100% relativní vlhkosti materiálů výrazně tmavší barvou než okolní, stejný materiál s menší vlhkostí (viz. komentář k obrázku č. 14.)

K získání skutečného stavu bylo nutné do systému vložit vliv zatékající dešťové vody z nefunkčních okapových svodů polopropustnou zeminou v okolí stavby a vliv vztlínající vody z míst HPV.

Těchto kritérií bylo dosaženo v programu Area EDU 2017 tak, že byly do určitých míst, vytipovaných k lokalizaci těchto problémů, vloženy menší obdélníkové oblasti a okrajové podmínky po obvodě těchto oblastí simulující relativní stav vlhkosti těsně nad hladinou vody, tedy podmínky zemní vlhkosti s relativní vlhkostí $> 97\%$. V mém případě byla použita hodnota 99%.

Kalibrace modelu na skutečný stav zavlhčení

a) Zadání dodatečných okrajových podmínek:



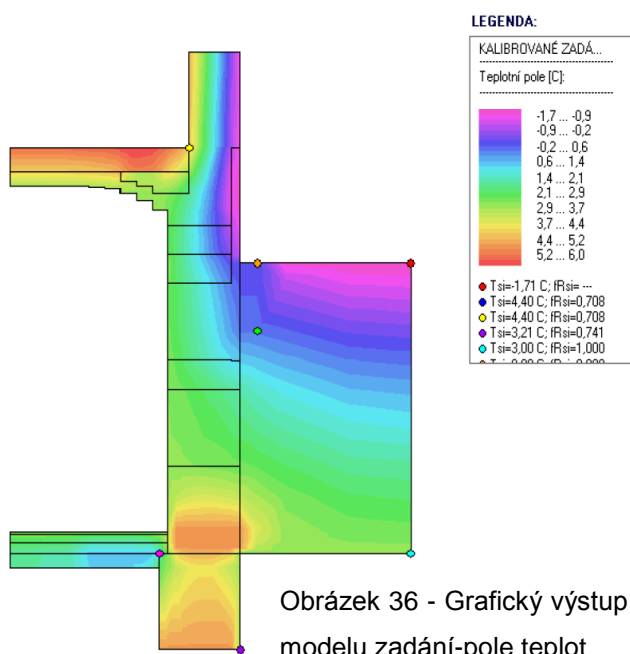
Obrázek 35 – Grafický výstup modelu zadání-geometrie a okrajové podmínky

Do modelu byly vloženy dvě oblasti s obvodovými okrajovými podmínkami simulující tekutou vodu.

1. oblast se nachází hned pod terénem, přiléhá ke kamennému soklu do hloubky 0,5m. Simuluje vliv vytékající dešťové vody z okapového svodu, který byl po dlouhou dobu zničen a chrtil vodu přímo na stěnu soklu a do zeminy v bezprostřední blízkosti objektu.

2. oblast byla umístěna k patě suterénní stěny nad základový pás přímo do stěny. Je to oblast, která vnáší do modelu vliv vztlínající vody od HPV do konstrukce.

b) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu

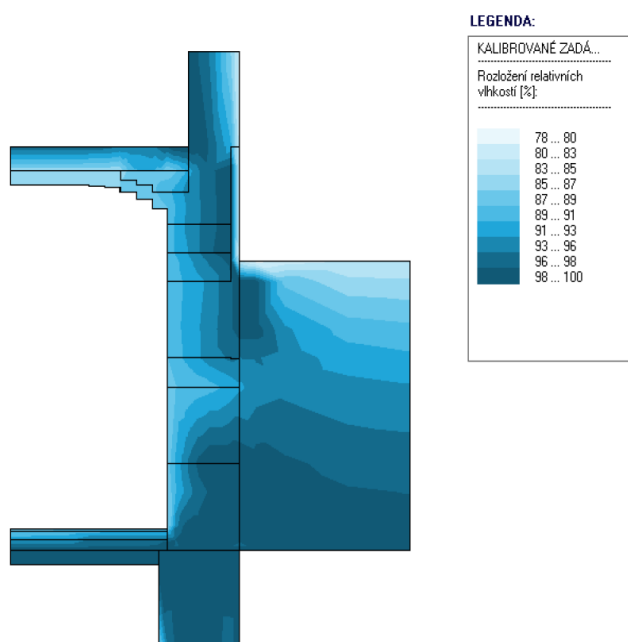


Obrázek 36 - Grafický výstup modelu zadání-pole teplot

Modelová situace počítala s průměrnou lednovou teplotou a relativní vlhkostí vzduchu pro Mostecko ($\theta_e = -1,9^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 85\%$). Interiérové teploty byly zadány podle naměřených hodnot v objektu 30. ledna 2019. ($\theta_i = 3^\circ\text{C}$, $\varphi_i = 88\%$) pro suterénní prostory, ($\theta_i = 7^\circ\text{C}$, $\varphi_i = 85\%$).

Teplota okrajové podmínky nad hladinou HPV byla nastavena na 5°C , obdobně tomu bylo u podmínky přilehlé zeminy k podlaze suterénu.

c) Relativní vlhkosti, vlhkostní bilance modelu



Obrázek 37 - Grafický výstup modelu zadání - relativní vlhkosti kce.

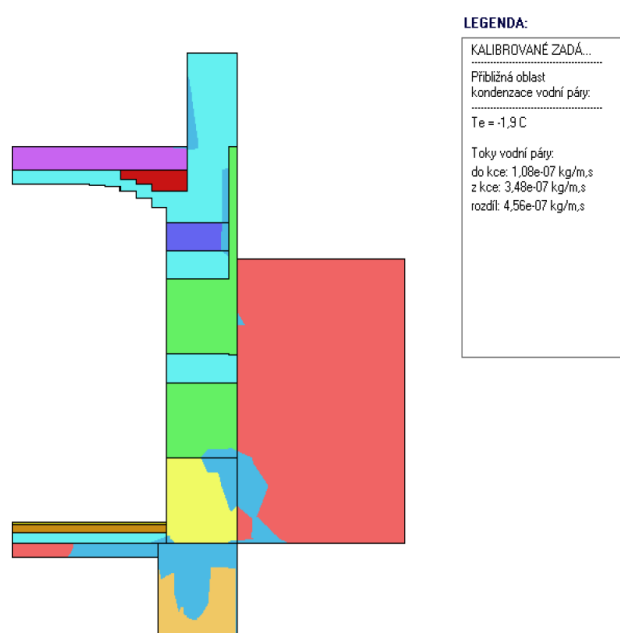
Grafický výstup relativních vlhkostí napříč konstrukcemi detailu ukazuje lokality nepravděpodobnějšího výskytu kondenzátu. Nejtmavší odstín modré barvy značí 100% relativní vlhkost, jejíž hodnota se odvíjí od materiálových vlastností.

Již je zřejmé, že zatékající dešťová voda působí velké problémy u paty soklu, kde se vlhkost dostává za kamennou soklovou úpravu až do cihelného zdiva a vzlíná směrem vzhůru až do výše cca 1 m nad terén.

Relativní vlhkost je větší při vnějším kraji stěny směrem k exteriéru. To je dáno tím, že směr tepelných toků je převážně

orientován z interiéru do exteriéru z důvodů nižších teplot v exteriéru a tudíž menších parciálních tlaků vodní páry. Po většinu roku je orientovaný směr tepelných toků. Během horkých letních dní se může směr tepelného toku otočit, vodní pára se začne tlačit směrem do objektu z exteriéru. Vzhledem k faktu, že na tento jev nejsou stavební konstrukce primárně připraveny, může u některých dojít k problémům s kondenzací na opačné straně stěny.

d) Oblast kondenzace v konstrukci



Z předešlého výstupu vykreslení relativních vlhkostí v konstrukci je posledním krokem grafické vyobrazení oblastí, kde dochází ke kondenzaci difundované vodní páry. Jsou to místa, jejichž relativní hodnota překročí 99%. Problémy jsou v místech uměle vložených podmínek, v rozích podlahy ve styku se stěnou a pod podlahou. Ve skutečnosti 100% relativní vlhkost prostupuje až na povrch podlahy spárami betonových dlaždic - tento fakt nebyl v programu vzat v potaz.

Obrázek 38 - Grafický výstup modelu zadání - oblast kondenzace

Diskuse nad výsledky

Díky takto vypracovanému celistvém modelu simulujícímu skutečné podmínky a důsledky účinků vlhkosti na konstrukci lze přistoupit k metodickému vypracování jednotlivých variant opatření či sanace konstrukce tak, aby bylo co nejefektivněji zamezeno nežádoucím dopadům na objekt. Po zjištění, jaké jednotlivé varianty jsou nejefektivnější, bude vypracován souhrn opatření v jedné, či dvou závěrečných variantách.

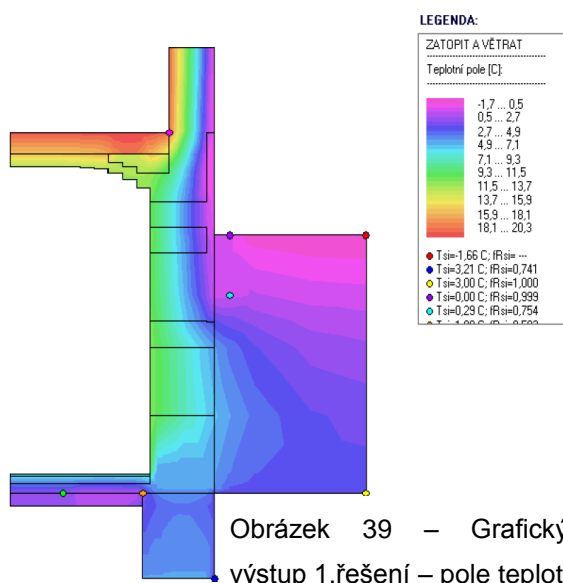
5.3.4 Modely návrhů metod sanace

Jednotlivá opatření

Na následujících stranách budou navrženy a posouzeny jednotlivé varianty řešení a sanace. Účelem je znát pozitivní i negativní přínos každého způsobu zvlášť tak, aby bylo možné co nejlépe navrhnout komplexní řešení zahrnující hlavní i vedlejší sanační metody.

ŘEŠENÍ č.1 – Zatopit a větrat

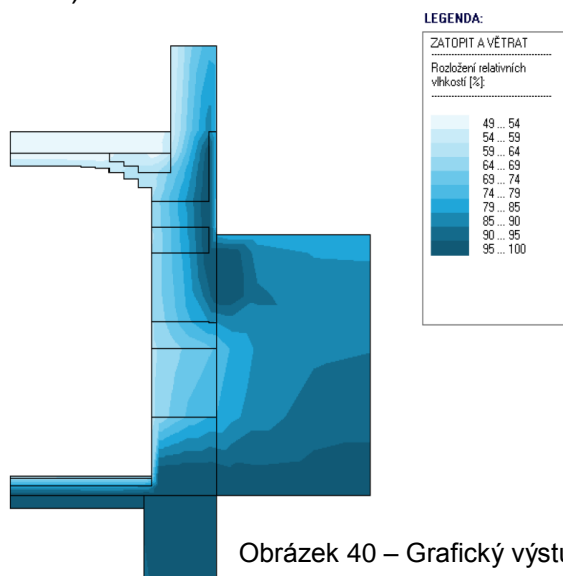
a) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu



Obrázek 39 – Grafický výstup 1. řešení – pole teplot

ČSN 730540-3, tab. I2.)

b) Relativní vlhkosti konstrukce

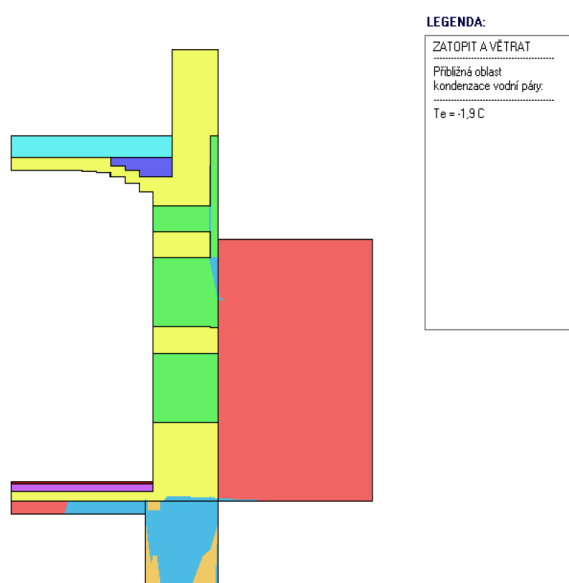


Obrázek 40 – Grafický výstup 1. řešení – relativní vlhkosti

Venkovní teplota zůstává stejná, včetně relativní vlhkosti vzduchu ($\theta_e = -1,9^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 85\%$). Teploty v interiéru se zvýšily. V suterénní části objektu se zlehka topí, spíše by se dalo říci, že zvýšená teplota je důsledkem intenzivního větrání sklepních prostor, zajištěného výměnou vzduchu s vytápěnými místnostmi o patro výše. Hodnoty se změny na $\theta_i = 12^\circ\text{C}$, $\varphi_i = 60\%$. Nadzemní podlaží je v tomto modelu uvažováno jako obytné, čemuž odpovídá změna vnitřního klimatu, hodnoty $\theta_i = 20,3^\circ\text{C}$, $\varphi_i = 50\%$. (Dle normy

Pokles relativních vlhkostí oproti naměřenému stavu je znatelný. Rozptyl hodnot se zvětšil směrem k nižším číslům o téměř 30%. Místa jako klenutý strop, vnitřní povrch stěny 1. nadzemního podlaží a částečně stěny suterénu jsou mnohem sušší, a to i za ingorování všech nepříznivých podmínek dodatečně vložených za účelem napodobení důsledků vnikající vody do konstrukce. Některé problémy stále přetrvávají.

c) Oblast kondenzace vodní páry



Vyjma základového pásu a podlahy suterénu se zdá, že zatopením a větráním se lze úspěšně zbavit kondenzace vodní páry u většiny míst. Jediným problematickým místem zůstává oblast za difúzně nepropustným soklovým obkladem.

Dobrým znamením je to, že voda z ustálené hladiny podzemní vody nemá za těchto podmínek dostatečnou kapilární sílu, aby se dostala nahoru skrze základový pas až do cihelné stěny a zamokřovala tak nároží stěny a podlahy.

Obrázek 41 – Grafický výstup 1. řešení – oblast kondenzace

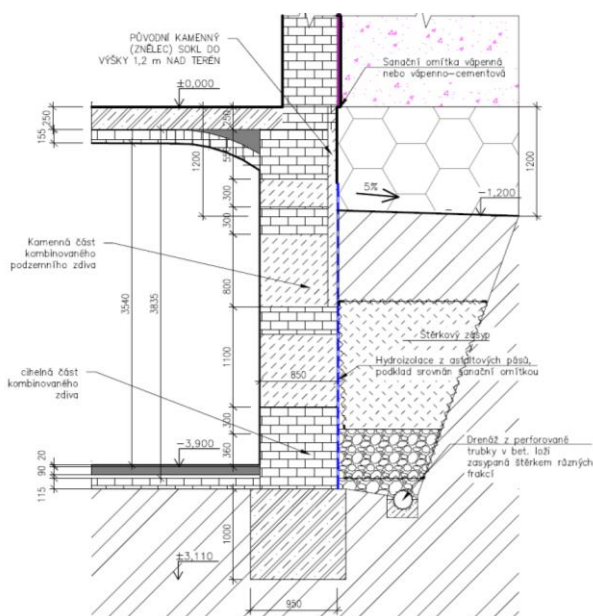
Diskuse nad výsledky

Za předpokladu vytápěných nadzemních podlaží a větraného suterénu zajištěné cirkulací vzduchu z horních pater, a to buď gravitačně nebo nuceně pomocí ventilátorů, by se dosáhlo velmi uspokojivých výsledků jen s tímto základním opatřením.

Pokud by nebylo možné z různých důvodů cirkulovat vzduch ze sklepních prostor do nadzemních obytných prostor, řešením by mohly být malé rekuperátory, které by vysoušely zvlhčené klima bez tepelných ztrát a bez zvyšování vlhkosti v obytných patrech.

Toto řešení neodstraní vlhkost vyvzlínanou z podzákladí budovy do souvrství podlah, zde se relativní vlhkost drží stále velmi vysoko a je nutné se na tento problém ještě dále zaměřit. Při ponechání v tomto stavu hrozí vznik plísní těsně pod podlahou nebo přímo na jejím povrchu.

ŘEŠENÍ č.2 – Obkopání spodní stavby, svislá hydroizolace, drenáž

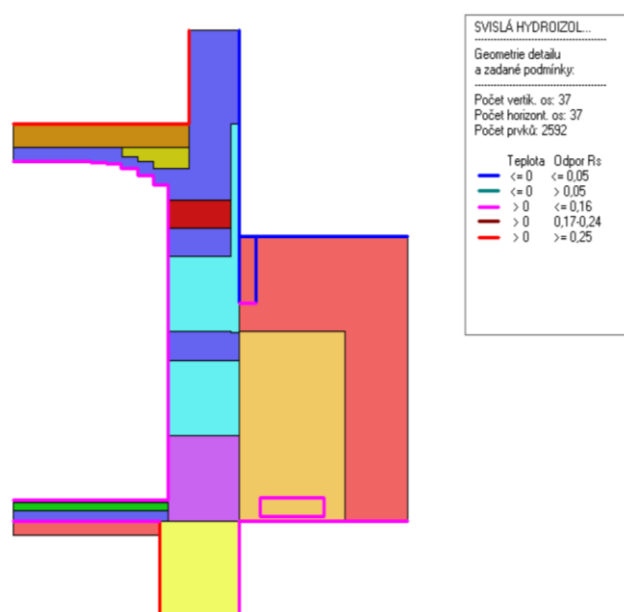


Obrázek 42 - Hydroizolace svislé stěny v kontaktu se zemínou,

Obr. č 23: Zde je znázorněno, jak by vypadalo hydroizolační opatření natavením svislých živičných pásu (NAIP) na stěnu suterénu, předem vyspravenou cementovou maltou.

Při obkopování suterénu se vybuduje drenáž při patě stěny, která má za účel odvést zasáklou vodu v povrchu, aby se nekumulovala a nevytvářela hydrostatický tlak. Zásyp do do hloubky 1 m pod terén je z propustného štěrku, zbytek z propustné hlinité zeminy. Štěrkový “kufr” je obalený v geotextílii, aby se štěrk nezanesl nečistotami.

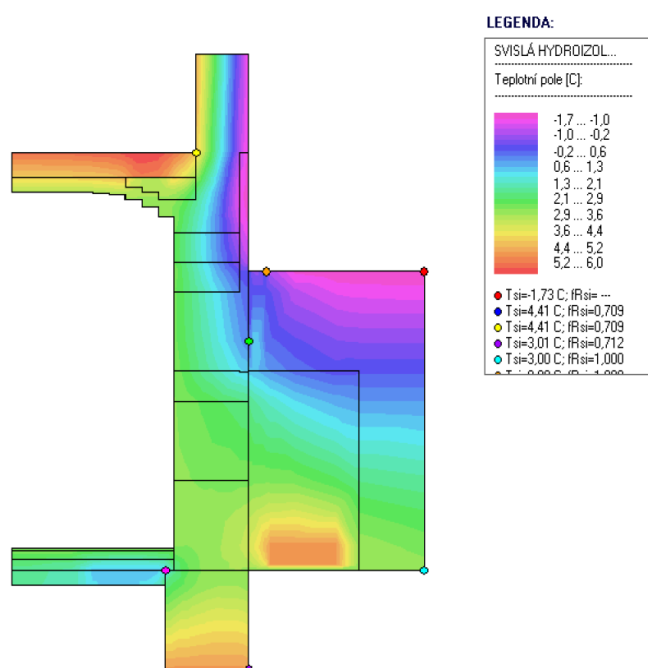
a) Zadání dodatečných oblastních a okrajových podmínek:



Obrázek 43 - Zadání modelu pro variantu svislé hydroizolace

1. Vrchní obdélníková podmínka simulující vliv zatékající dešťové vody nebyla odstraněna, a to i přesto, že se předpokládá oprava svodu, tentokrát tato podmínka reprezentuje dešťovou vodu zasáklou přímo u stěny (například po prudkém dešti hnaném větrem).
2. Druhá podmínka u paty stěny suterénu byla posunuta o 1 metr směrem od objektu, tentokrát definuje odvodňovací drenážní trubku, kde se po vydatném dešti může kumulovat větší množství vody.
3. Přibyla jedna oblast, ta označuje štěrkový propustný “kufr” obalený geotextílií.

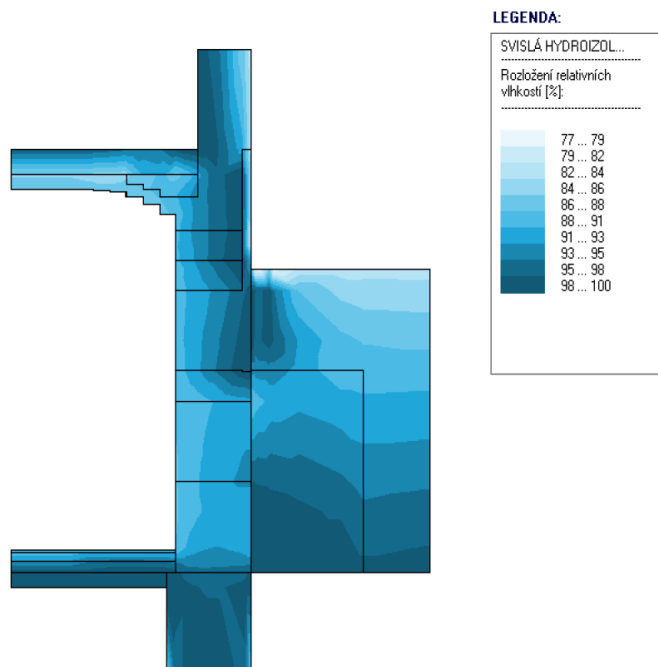
b) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu



Obrázek 44 – Pole teplot modelu pro variantu svislé hydroizolace

Teploty modelu se téměř nezměnily od teplot v modelu zadání. Rozdílem je zde posun studené oblasti se 100% relativní vlhkostí o 1m od objektu.

c) Relativní vlhkosti vypočtené vlhkostní bilance modelu

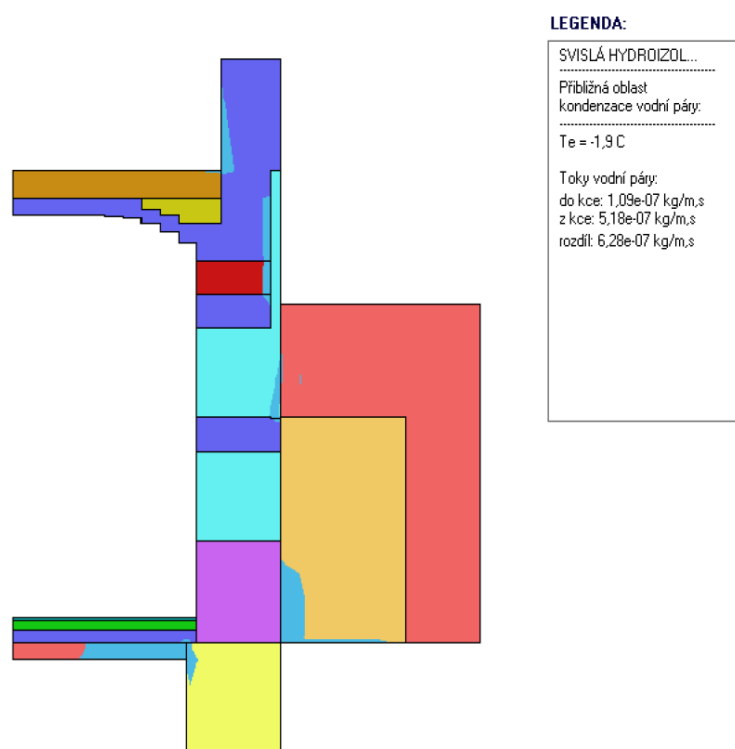


Obrázek 45 – Relativní vlhkosti modelu pro variantu svislé hydroizolace

Je zde patrný úbytek vlhkosti v patě suterénu z exteriéru díky natavené hydroizolaci až do úrovně paty stěny. Koncentrace vlhkosti v místě drenážní trubky nemá již na konstrukci žádný negativní vliv

Venkovní hydroizolace vůbec nepomohla oblasti vysoké vlhkosti uvnitř stěny nad terénem za soklovou úpravou. Důvod je ten, že tepelný tok, tedy i směr difúze vodní páry, je orientovaný z interiéru do exteriéru. Tato varianta tedy pravděpodobně nebude vhodná jako jediné řešení problému.

d) Oblast kondenzace vypočtené vlhkostní bilance modelu



Převážná část problémů zůstává, jediné, co by svislá hydroizolační vrstva jako samotné řešení zajistila je, že by zemní vlhkost a voda od HPV nemohla vzlínat zdívkou do konstrukce na patě stěny pod zemí.

Na ostatní problémy s kondenzací vodní páry to nemá žádný vliv.

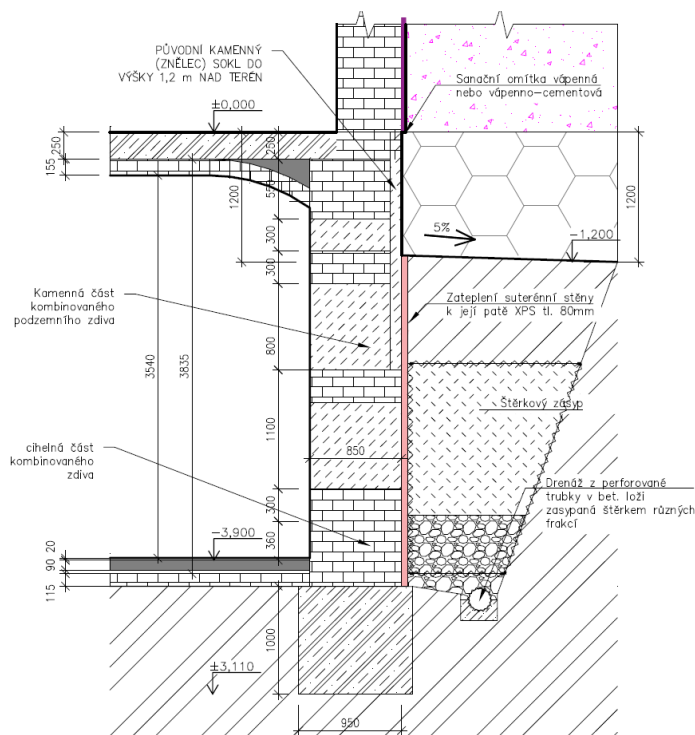
Obrázek 46 – Oblast kondenzace modelu pro variantu svislé hydroizolace

Diskuse nad výsledky

Z komentářů k jednotlivým grafickým výstupům lze spolehlivě říci, že toto opatření jako jediné samo o sobě nemůže vyřešit problém s nadměrným zavlhčením suterénu objektu. Podstata problému spočívá v tom, že tepelný tok a tlak vodní páry směřuje z interiéru do exteriéru v zimních měsících a převážnou dobu roku a je důležité dovolit stavbě tzv. dýchat.

Nejvíce zkondenzované vodní páry se v detailu nalézá za soklovou úpravou stěny nad terénem, vrstva je silně namáhána vodou z venkovního prostředí, také pro svůj velký difúzní odpor zabraňuje značnému množství vodní páry vyjít ven, voda se tedy vysráží za ní.

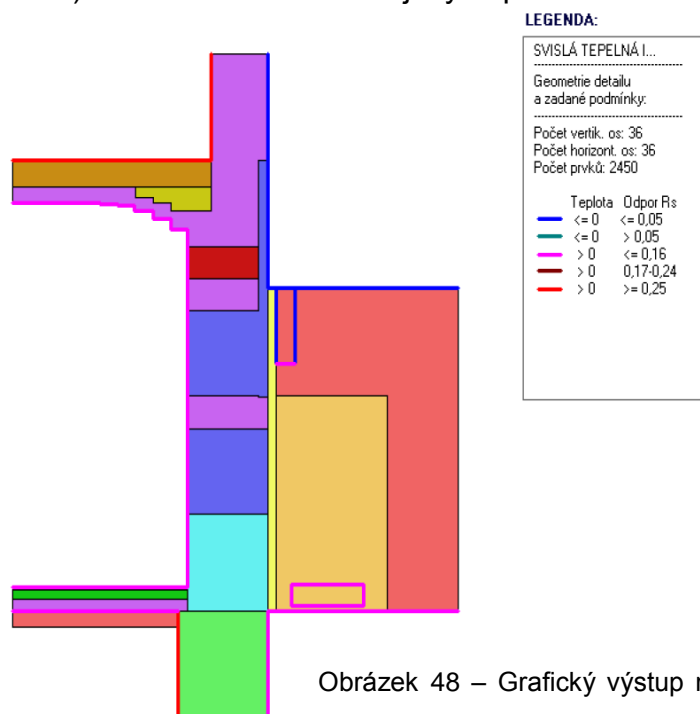
ŘEŠENÍ č.3 – Obkopání spodní stavby, tepelná izolace suterénu pomocí desek z XPS, drenáž



Obrázek 47 – Tepelná izolace stěny pod terénem, drenáž

deskami, nespojitým přichycením ke stěně atp. tato teoretická schopnost znatelně klesá.

a) Zadání oblastí a okrajových podmínek



Obrázek 48 – Grafický výstup modelu 3. řešení – tepelná izolace suterénu

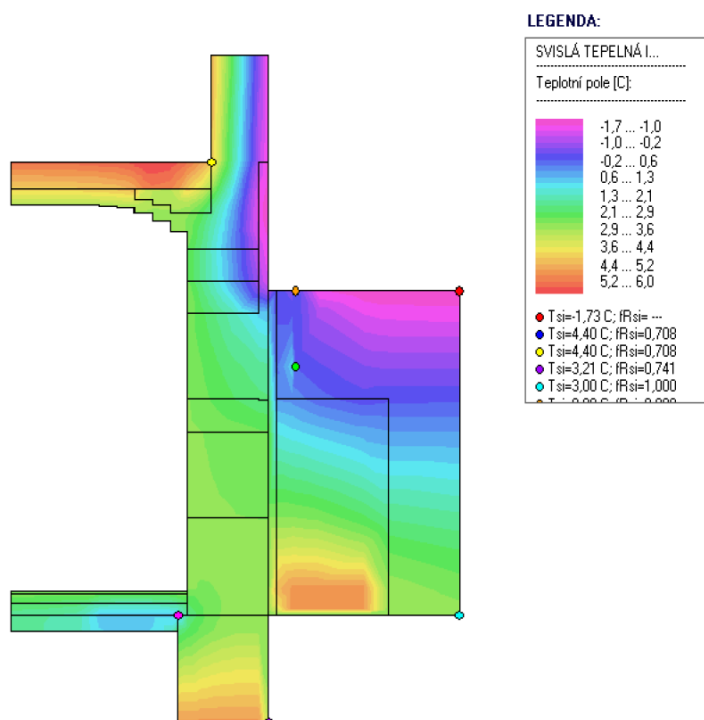
Obr. č 28:

Obdobný případ sanačního řešení jako v předešlé variantě, jen s tím rozdílem, že se zde aplikuje nikoliv hydroizolace, ale izolace tepelná v podobě XPS desek tl. 80 mm na výšku celé suterénní stěny.

Součinitel tepelné vodivosti XPS desek $\lambda=0,035 \frac{W}{m \cdot K}$, faktor difúzního odporu je uměle snížený na hodnotu $\mu=10 [-]$ z běžných 200, za účelem odstranění vodotěsných účinků takovéto vrstvy, která je teoreticky vysoká, v reálu však díky nepřesnostem v provedení podélných a styčných spár, mezer za

1. Dodatečně vložené oblasti 1 a 2 jsou zadane stejne, viz. řešení č.2
2. Nová oblast v kontaktu se stěnou na straně exteriéru reprezentuje 80 mm silnou tepelnou izolaci z desek XPS.

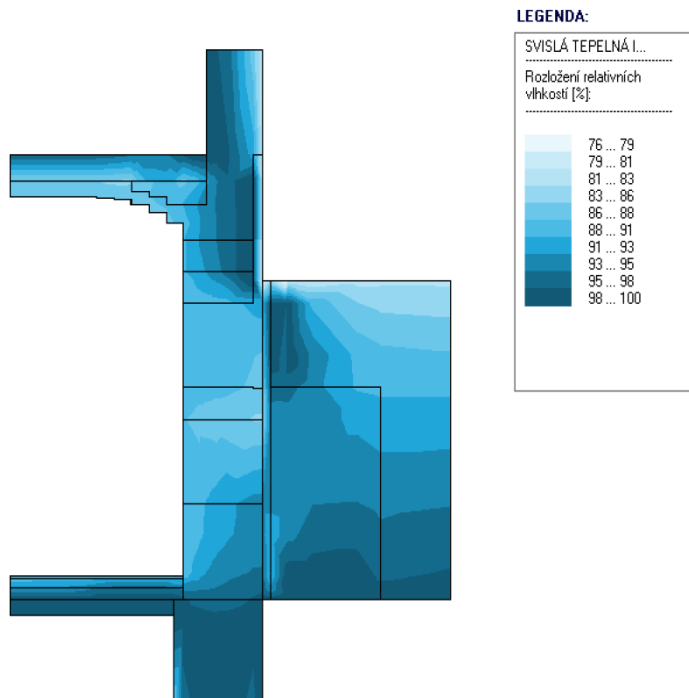
b) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu



Oproti předchozí variantě se v zásadě nic nezměnilo. Účinky tepelné izolace se projeví až po zvýšení teploty v interiéru - zatopením a větráním, viz. řešení č.1.

Obrázek 49 – Grafický výstup modelu 3. řešení – pole teplot

c) Relativní vlhkosti vypočtené vlhkostní bilance modelu



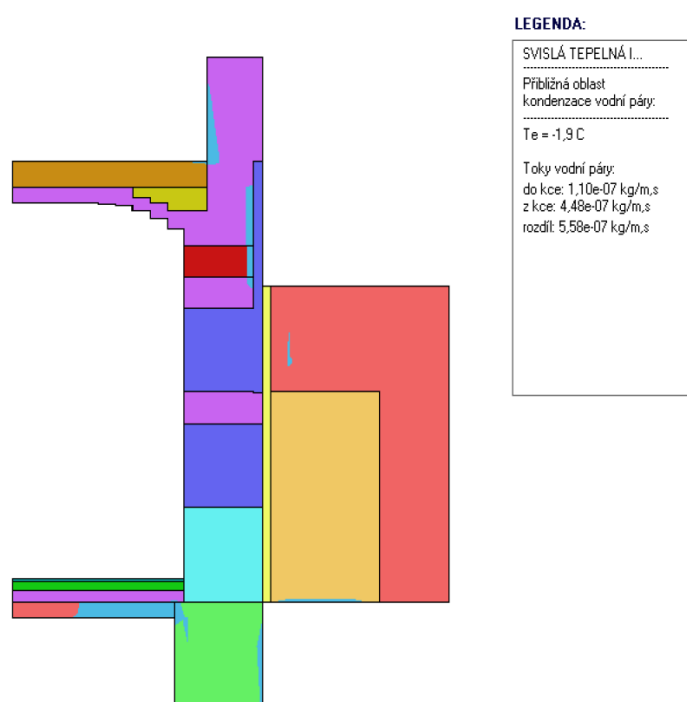
Vlhkostní model ukazuje, že razantním omezením difúzního odporu materiálu zateplení na hodnotu 10 z 200 se přes ní dostává vlhkost dovnitř směrem do konstrukce v místě paty stěny a vzlína vzhůru.

Ostatní oblasti jsou stejné jako ve vlhkostním modelu předešlého řešení.

Relativní vlhkost se pohybuje v hodnotách 76 až 100 procent.

Obrázek 50 – Grafický výstup modelu 3. řešení – relativní vlhkosti

d) Oblasti kondenzace vodní páry vypočtené vlhkostní bilance modelu



Místa s kondenzující vzdušnou vlhkostí jsou podobná jako při použití hydroizolace, je zde ovšem rozdíl, že u paty suterénní stěny voda nekondenzuje, ale ve variantě s hydroizolací ano.

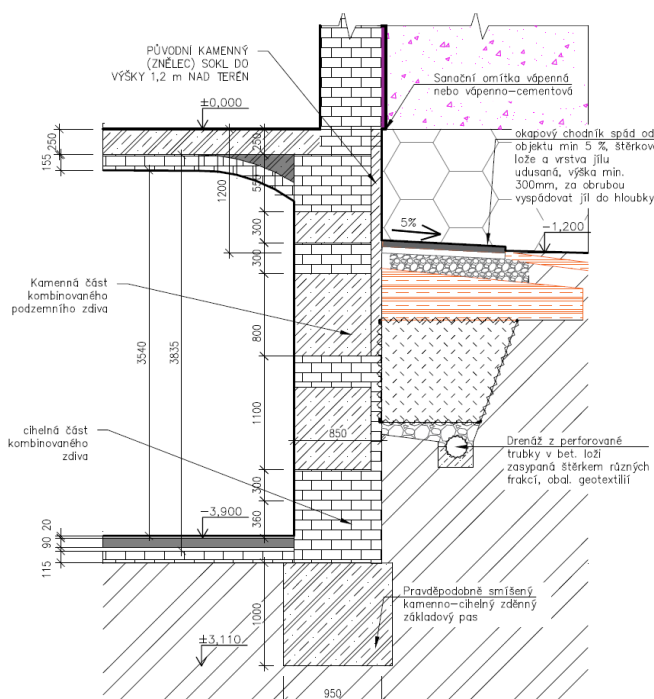
Je to dáno směrem tepelných toků, které vedou směrem z objektu do exteriéru, při omezené hodnotě faktoru difúzního odporu desky XPS propustí vlhkost ven do zeminy a pára nekondenzuje v konstrukci, namísto hydroizolace, která zde v těchto místech zafunguje jako parotěsná vrstva a dojde

Obrázek 51 – Grafický výstup modelu 3. řešení – oblast ke zkondenzování.
kondenzace

Diskuse nad výsledky

Použitím tepelné izolace se v případě ponechání budovy v nevytápěném stavu moc nezměnilo, ani nemohlo. Při uvedení budovy do provozu bude toto tepelné opatření však velmi vítané. Vrstva extrudovaného polystyrenu neměla ani možnost zamezit vnikání vody do konstrukce z exteriéru, protože pro přehlednost a porovnatelnost variant byl difúzní odpor vrstvy vypnutý a sledoval se pouze tepelný vliv.

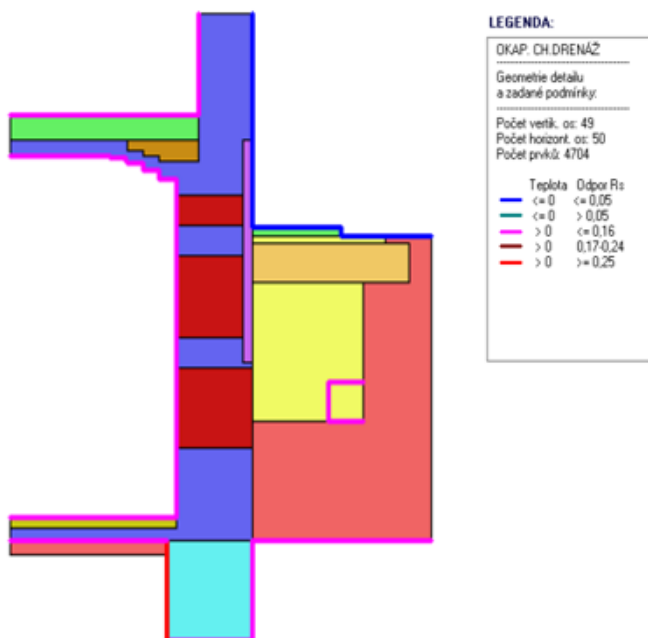
ŘEŠENÍ č.4 – Mělká drenáž s odvodem vody od objektu, okapový chodník



Obrázek 52 – Mělká drenáž, jílová hydroizolační vrstva, okapový chodník

Obr. č 51: Na výkresu je znázorněno řešení, kdy by se kolem objektu vytvořilo zvrchu nepropustné těleso z udusaného jílu, ve spádu od stěny. Na této vrstvě eliminující zatékání dešťové vody do blízkosti stěny se vybuduje okapový chodník s pevnou pochozí plochou či jen vysypaný štěrkopískem. Pojistkou proti zatečení vody pod jílové těleso je mělká drenáž, která nesahá až do hloubky paty stěny, jako v předešlé variantě. Štěrkový “kufr” se obalí geotextilií.

a) Zadání oblastí a okrajových podmínek



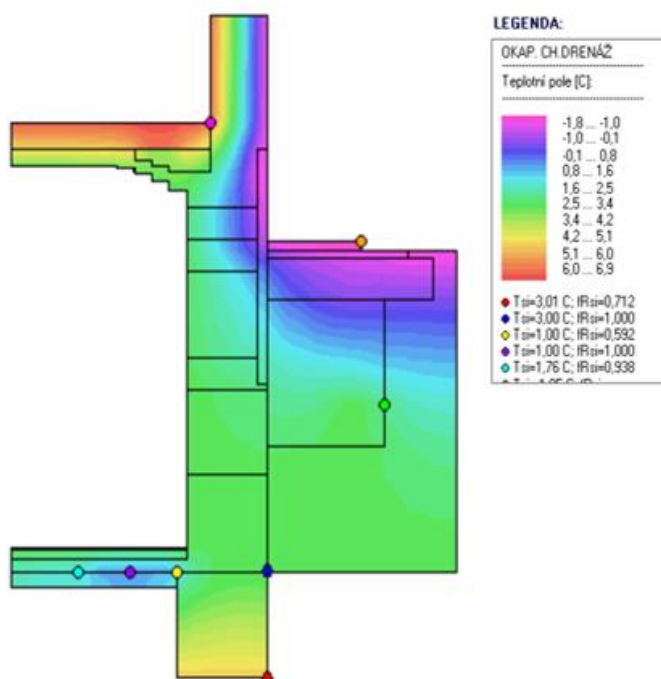
Obrázek 53 – Grafický výstup modelu 4. řešení – oblasti a okrajové podmínky

1. Do programu byly zaneseny nové oblasti - do míst pod úroveň terénu. Představují jednak směrem zespodu štěrkové propustné těleso, včetně drenážní trubky, vrstvu jílové hydroizolace tloušťky cca 350 mm a délky 1,5 m od stěny, a souvrství podloží okapového chodníku (v tomto případě je pochozí vrstva betonová dlažba). Všechny svrchní vrstvy jsou vyspádované směrem od objektu.

2. Nově vnesená, respektive přesunutá skupina okrajových podmínek v pravém dolním rohu výkopu reprezentuje naplněnou drenážní

trubku vodou, při naplnění funkčnosti drenáže na 100%.

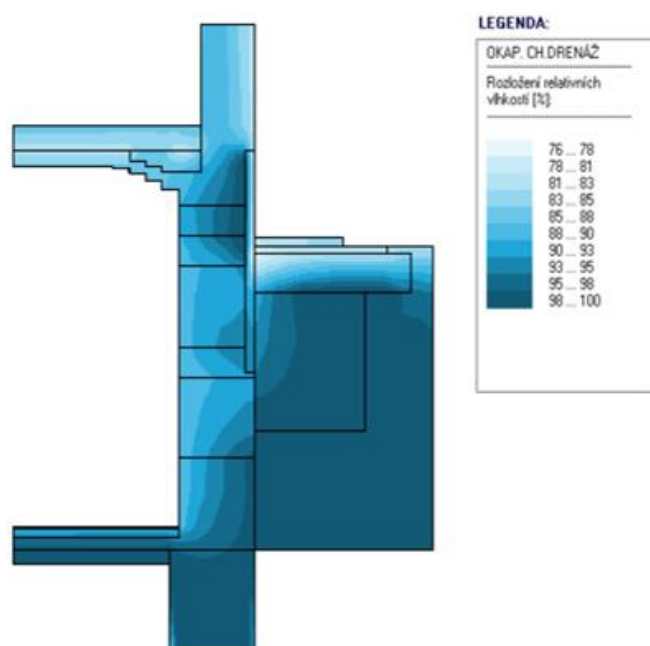
b) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu



Obrázek 54 – Grafický výstup modelu – pole teplot

Na poli teplot se toho příliš nemění, objekt je stále ponechán bez vnitřního zdroje tepla a sleduje se pouze dopad jednotlivých sanačních opatření a úprav okolí objektu na vlhkost konstrukcí.

c) Relativní vlhkosti vypočtené vlhkostní bilance modelu

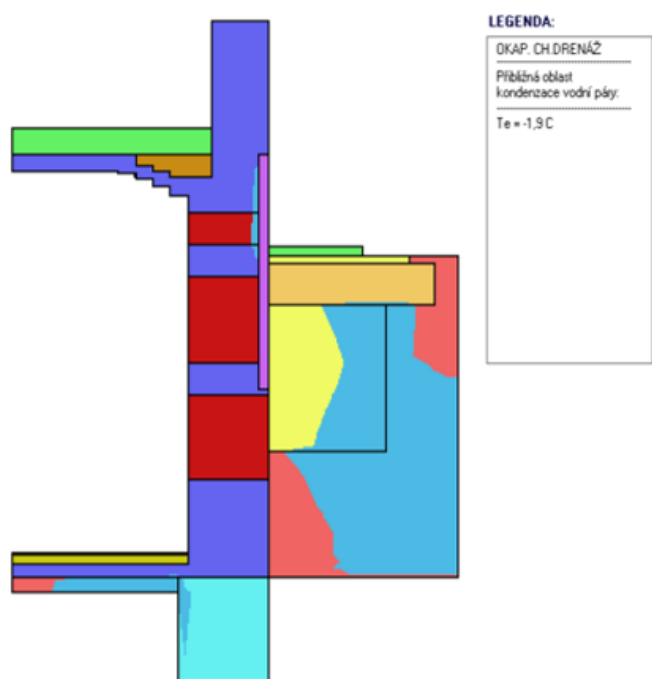


Obrázek 55 – Grafický výstup modelu – relativní vlhkosti

Z vykreslení relativních vlhkostí vyplývá, že venkovní opatření v podobě okapového chodníku a nepropustného jílového tělesa zabraňuje vnikání vody (dešťové a jiné) do půdy v okolí suterénní stěny. V zimních měsících, kdy teplota vzduchu klesá pod teplotu země, však dochází k opačnému problému, kdy pod místy utěsnění nemůže zemní vlhkost odcházet směrem vzhůru, následkem je vysoká rel. vlhkost v zemi pod jílovým těsněním.

Přímý vliv na konstrukci to ale nemá, ta je výrazně sušší, než je tomu bez jakéhokoliv opatření. Je zde patrné, že množství vlhkosti je vyšší v částech zdiva tvořeného pálenými cihlami, jejich nasákavost je násobně vyšší než kamene.

d) Oblasti kondenzace vodní páry vypočtené vlhkostní bilance modelu



Obrázek 56 - Grafický výstup modelu – oblasti kondenzace

Jílové těsnící těleso zapříčinilo kondenzaci vlhkosti v přilehlé zemině pod ním, tu ovšem, v případě velkého množství je schopna odvést drenáž na dně výkopu.

Co se týče konstrukcí spodní stavby, je znatelně sušší, jelikož zmizely dva hlavní problémy podzemní části stěny.

Jednak voda stékající ze svodů do objektu je vyřešena a zasakující voda od deště je taktéž odvedena od stěny, za druhé se koncentrovaná vlhkost v místě paty stěny časem snížila a díky drenáži již nebude docházet k jejímu zvyšování zasakováním další vody z povrchu.

Diskuse nad výsledky

Z praktického hlediska je vyřešení odvodu vody okapovým chodníkem s kombinací jílového těsnění velmi užitečné a v praxi by se k této variantě přistoupilo také díky finanční nenáročnosti, oproti jiným komplikovanějším řešením. V případě řešeného problému je nutné tuto variantu brát jen jako vedlejší, možno říci preventivní, jelikož v konstrukci stále dochází ke kondenzaci a relativní vlhkost materiálů je nepřijatelná.

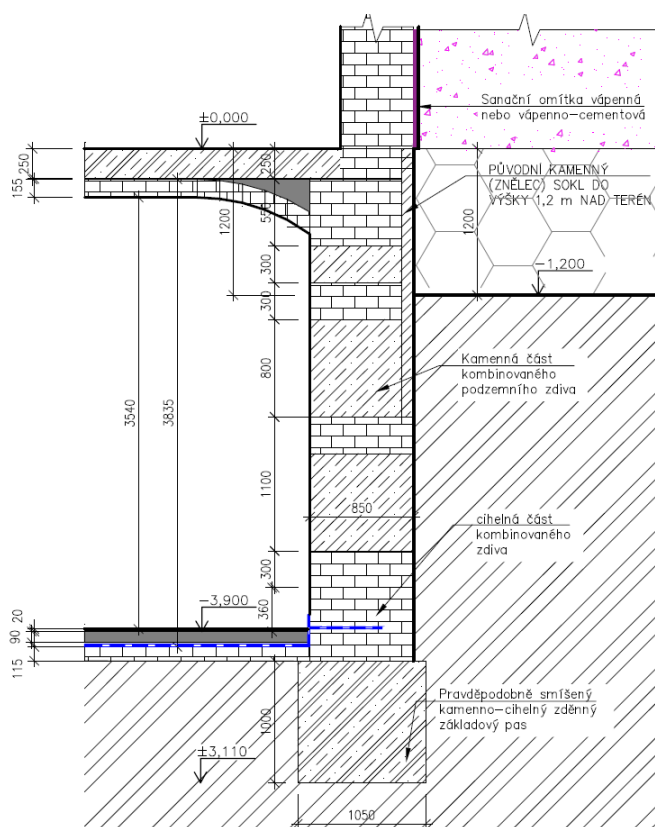
Pozitivem je, že při použití této levnější varianty drenáže a úplném vypuštění povrchových úprav suterénního zdiva pod úroveň terénu (hydroizolace asfaltovými pásy, tepelná izolace XPS deskami) lze dosáhnout velkého omezení vnikání další vlhkosti do konstrukce. Je tedy možné, že celková sanace objektu by nemusela být tak finančně náročná a zásah do konstrukce by byl minimální, což je velké plus z důvodu památkové ochrany objektu.

ŘEŠENÍ č.5 – Vybourání podlahy suterénu, provedení hydroizolace a nového souvrství, injektáž zdiva v patě stěny z interiéru

Posledním jednotlivým opatřením je zamezení vnikání vlhkosti z podzákladí do podlahy suterénu a obvodové suterénní stěny. Jediný způsob, jak z interiéru odizolovat stěnu proti vztlínající vlhkosti z podzákladí a HPV, je tlaková nebo jiná injektáž, nebo se nabízí jednostranné probourávání atp. Tyto varianty jsou ovšem nákladné po všech stránkách, je výhodné si případné pozitivní vlivy taktéž vyzkoušet na modelu. Z kalibrovaného zadání vyplývá, že hlavními příčinami výskytu vysoké vlhkosti ve zdivu je prosakující voda z povrchu až do úrovně základů, hladina podzemní vody, ze které vztlíná voda do míst paty stěny a vysoká vlhkost vnitřního nevytápěného prostředí.

Dá se předpokládat, že níže navržené řešení nebude mít požadovaný výsledek a bude jako jediné řešení problému naprosto nedostačující.

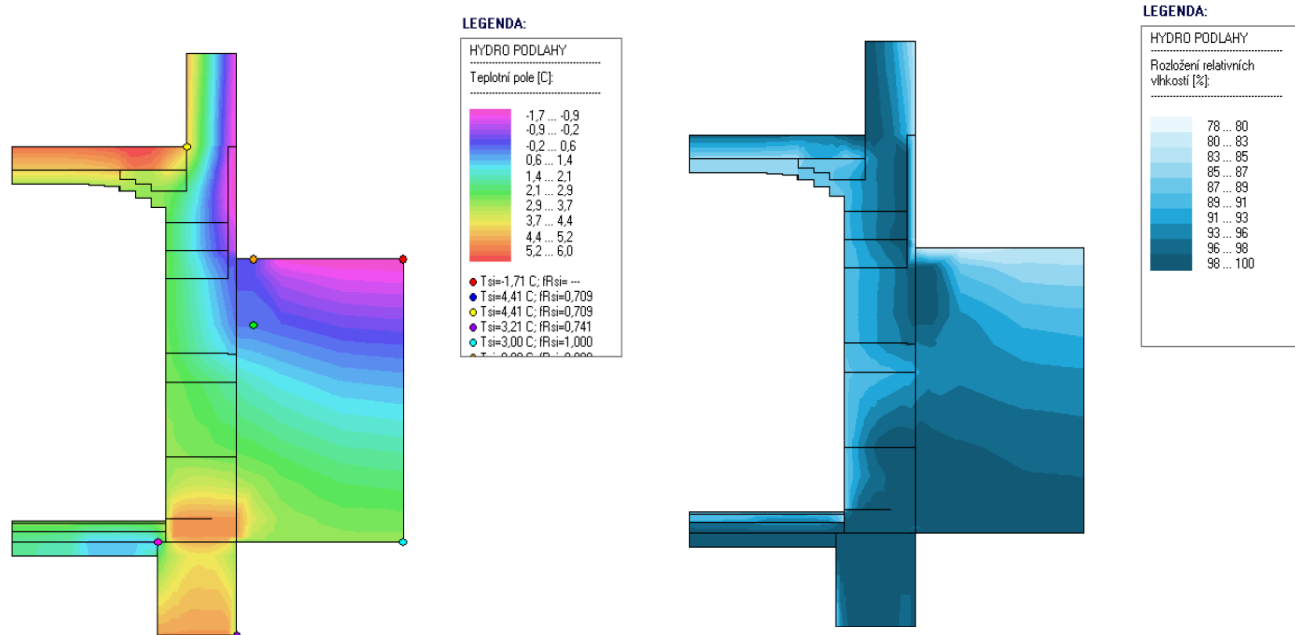
Stejně takový dopad by mělo zaizolování podlahy tepelně, proto nebude vytvořen model pro tepelnou izolaci podlahy suterénu, nýbrž jen tento.



Obrázek 57 – Hydroizolace podlahy a injektáž stěny

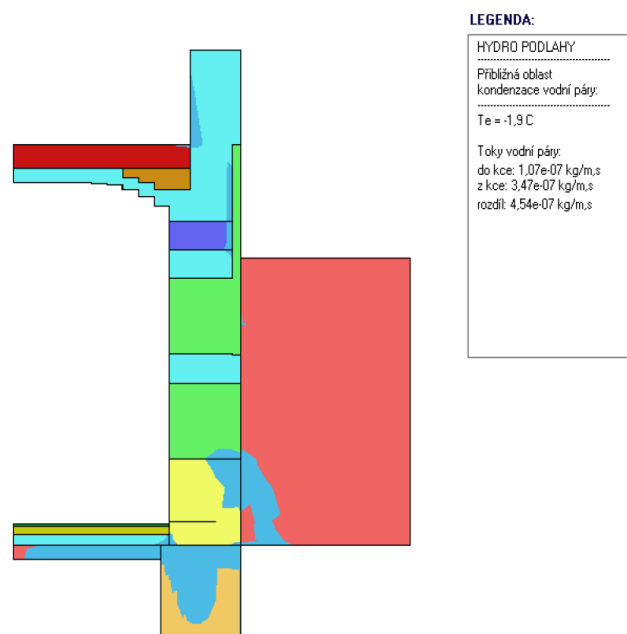
Obr. č 56: Kvůli provedení hydroizolace podlahy v suterénu se musí odstranit stávající vrstva struskového betonu, vyspravit a zarovnat cihlovou vrstvou a připravit podklad pro natavení pásů nebo položení PVC fólie. Hydroizolace je vytažená po stěně do té výšky, aby se provedl zpětný spoj s vrty injektáže v úrovni čisté podlahy.

- a) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu
b) Relativní vlhkosti vypočtené vlhkostní bilance modelu



Pole teplot a relativní vlhkosti zdiva jsou téměř beze změn.

- c) Oblasti kondenzace vodní páry vypočtené vlhkostní bilance modelu



Z pohledu na vykreslená mísa kondenzace vodní páry na zdivu je již jasné, že řešení zainjektování stěny a hydroizolování podlahy není vhodné. Problém se vztlínající a prosakující vodou přetrvává, voda vztlínající od HPV injektovanou úroveň pohodlně obejde.

Pro budoucí funkčnost stavby by bylo vhodné podlahu dodatečně zaizolovat i přesto, že to není sanační opatření, ale jako preventivní vůči zemní vlhkosti ano. Je to důležité také jako radonová izolace, která by v případě rekonstrukce objektu a uvedení do

běžného provozu byla nezbytností.

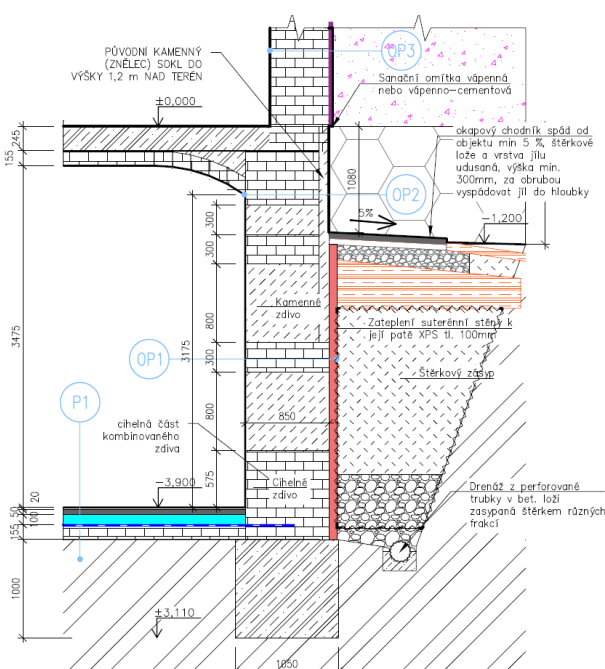
Výsledné komplexní sanační řešení a preventivní opatření

Řešení 1 až 5 navrhovala jednotlivá opatření jak sanačního charakteru, tak doplňujícího k hlavnímu sanačnímu opatření, které by se muselo realizovat. Každá z těchto předešlých možností se snažila řešit stejnou příčinu vzniku problému jiným způsobem, se zaměřením na svislé a vodorovné konstrukce.

Převážně kladné dopady všech opatření vedou ke kombinaci téměř všech jednotlivých variant dohromady, kromě svislé hydroizolace stavby. Důvodem absence této nepochybně účinné metody odstranění příčin vlhnutí zdiva je vysoká finanční náročnost při realizaci, protože aplikace natavením asfaltových pásů vyžaduje kvalitní vyrovnaný podklad, penetraci a jiné detailní práce. Na tak velké ploše by to tedy bylo neekonomické s přihlédnutím na fakt, že tepelná izolace pomocí desek XPS zajistí, i přes zlomkový faktor difúzního odporu, velmi podobný efekt na vlhkostní stav konstrukce, díky svým tepelně izolačním vlastnostem. Nalepení desek polystyrenu je ve srovnání se svislou hydroizolací výrazně méně pracné.

Finální návrhy sanace jsou 2, liší se od sebe pouze teplotou, na kterou je suterén temperován, není zcela jasné, jak budou sklepní prostory v budoucnu využívány, bylo tedy zapotřebí znát výsledek opatření za předpokladu minimálního vytápění suterénu, spíše jen větrání, a za předpokladu vytápění na standardní interiérovou teplotu obytných prostor.

Finální varianta č. 1 – klima suterénu: $\theta_i = 12^\circ\text{C}$, $\phi_i = 60\%$.



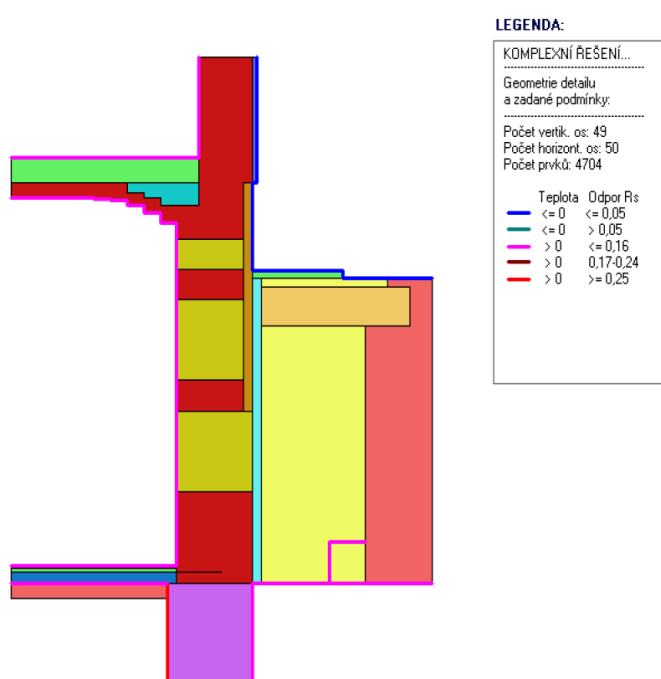
Obrázek 58 – Komplexní řešení sanačních opatření

Obr. č. 57: Kombinace hydroizolačních opatření a tepelných izolací, které je zapotřebí učinit, aby byl spolehlivě vyřešen problém s vlhkostí suterénu.

1. Okapový chodník důsledně řešící zamezení co největšího množství vsáknuté dešťové vody do drenážního tělesa pod ním.
2. Hluboká drenáž těsně nad úrovní HPV se šterkovým “kufrem” obaleným netkanou geotextilií.
3. Svislá tepelná izolace v exteriéru tl. 100 mm z desek XPS.

4. Hydroizolace vnitřních podlah, injektáž zdiva zamezující vztlínání vlhkosti v cihelné části obvodového zdiva. Napojení podlahové hydroizolace s injektážními vrty je vyřešeno vytažením podlahové izolace z asfaltových pásů 10 cm nad úroveň vrtů vytvořením podobného výsledku jako je tzv. zpětný spoj.
5. Tepelná izolace podlahy EPS 100 kPa tl. 100 mm.
6. Nová betonová podlaha tl. min. 50 mm vyztužená kari sítím při horním povrchu.
7. Sanační venkovní omítka tl. 40 mm. Účelem omítky je zamezit solným výkětům a lepšímu odvodu vlhkosti ze zdiva do exteriéru.

a) Zadání oblastí a okrajových podmínek do modelu

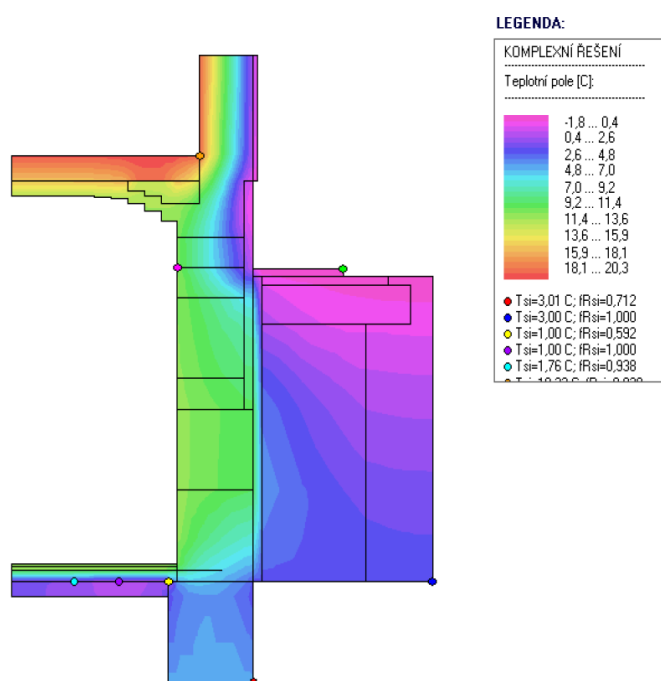


1. Všechny oblasti vyskytující se v tom modelu řešení byly použity v jednotlivých modelech uvedených výše.

2. Okrajová čtvercová podmínka v pravém dolním rohu u paty suterénní stěny reprezentuje drenážní trubku při vysokém naplnění zásáklou vodou.

Obrázek 59 – Grafický výstup modelu – oblasti a okr. podmínky

b) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu



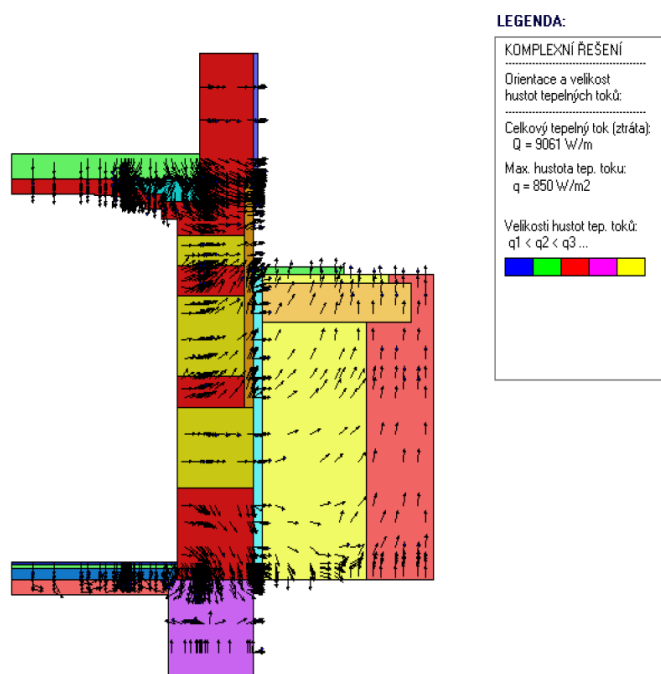
Teploty v suterénu jsou odlišné od teplot v nadzemním podlaží. Je dobře vidět, že díky venkovní svislé tepelné izolaci XPS deskami se podzemní část stěny neochlazuje a má po téměř celé tloušťce teplotu s mírným konstatním gradientem od 7 do 12 °C.

Nejchladnější část konstrukce se nachází v místě soklu ve vnější polovině stěny, zde tepelná izolace není, nebylo možné zasahovat do vzhledu soklové úpravy z důvodu omezení NPÚ.

Obrázek 60 - Grafický výstup modelu komplexního řešení

č. 1 - pole teplot

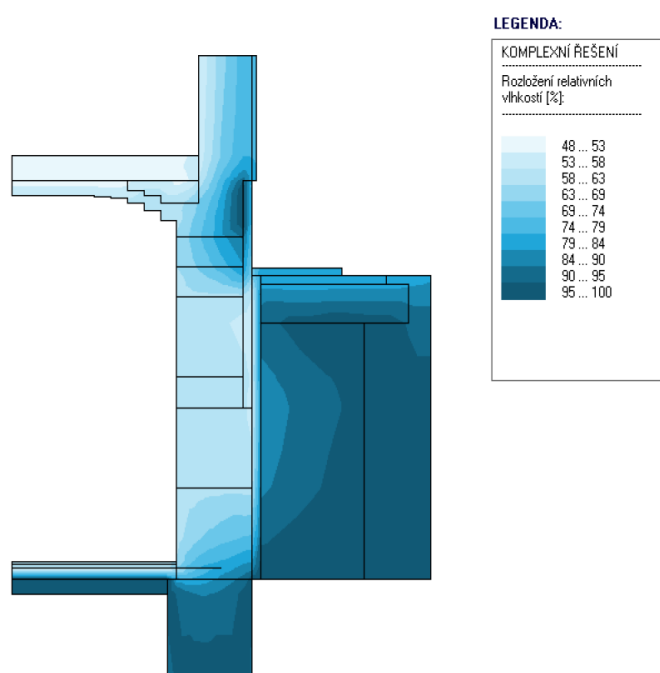
c) Směr tepelných toků v konstrukci



Tento grafický výstup se v práci ještě neobjevil. Pro úplné pochopení je zde uveden. Ve spojitosti s relativní vlhkostí a místy případné kondenzace je z něho zřejmé, že kondenzace se vyskytuje jen z důvodu velmi difúzně odporových materiálů a směru tepelných toků, které jsou zásadně orientovány z míst s vyšším parciálním tlakem vodní páry do míst s tlakem menším.

Obrázek 61 - Grafický výstup modelu - směr tepelných toků konstrukcí

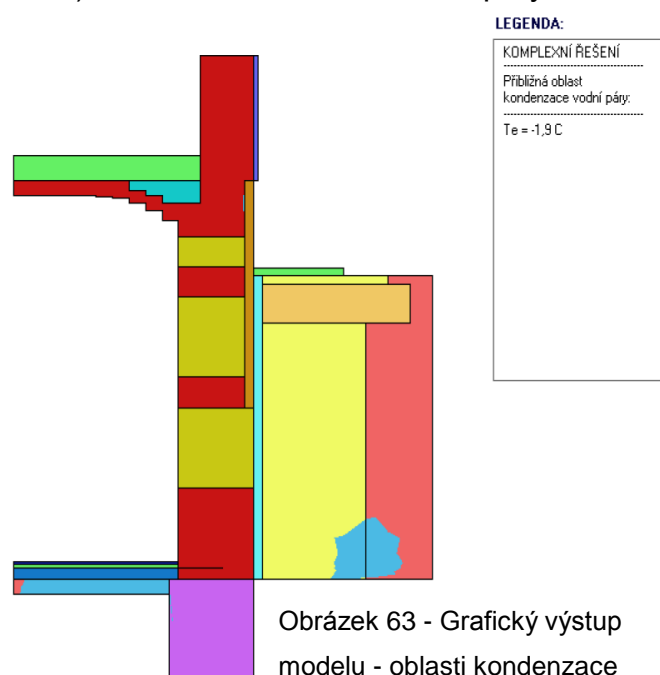
d) Relativní vlhkosti konstrukce



Obrázek 62 - Grafický výstup modelu - relativní vlhkosti

vlhkost v místě soklu, a to i přesto, že byl v modelu snížen faktor difúzního odporu kamenného obkladu na hodnotu 10. Předpokládaným řešením tohoto teoretického předpokladu by mohlo být vyškrábání starých vápenných spár a nahrazení difúzně propustným materiálem.

e) Oblasti kondenzace vodní páry



Obrázek 63 - Grafický výstup modelu - oblasti kondenzace

Rozmezí hodnot relativních vlhkostí se pohybuje od 48 do 100 %. Je důležité nezapomenout, že 48% relativní vlhkosti v cihelném zdivu odpovídá zhruba 15% hmotnostním, tedy nějakých 250 litrů vody na 1700 kg pálených cihel. (viz Tabulka č.12 - Převod hmotnostních procent vlhkosti na objemovou vlhkost a výpočet relativní vlhkosti materiálu – pálená cihla – str. 76)

Tato hodnota je stále poměrně vysoká, ovšem pro nevytápěné suterénní prostory do 4/5 zapuštěné v zemi a s absencí venkovní hydroizolace je pochopitelná. Nadále přetrvává vysoká rel.

Ke kondenzaci v konstrukci téměř nedochází. Nepatrné množství sražené vody sice je na vnitřní straně soklového obkladu, ale zdá se, že snížený faktor difúzního odporu výrazně pomohl.

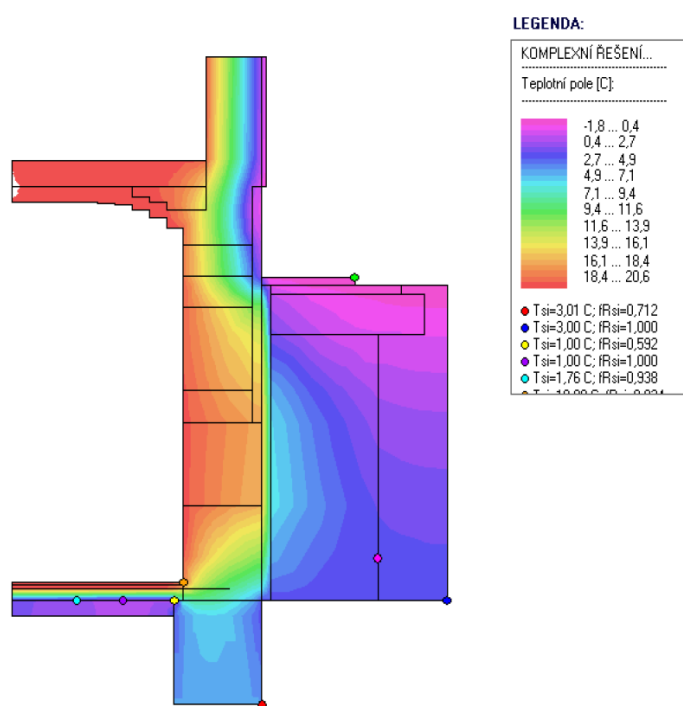
Voda stále kondenzuje pod podlahou, s tím ovšem nelze nic dělat, pokud nechceme použít jiných, náročnějších sanačních metod. Fakt, že je podlaha opatřena hydroizolací ve formě asfaltových pásů, je dostačující.

Diskuse nad výsledky

Komplexní řešení s nevytápěným suterénem se zdá být po všech stránkách úspěšné, a to jak z hlediska funkčnosti, tak z pohledu památkářů. Do stavebních konstrukcí totiž nebylo téměř vůbec zasaženo, řešení sanace předpokládá pouze realizaci nových vnitřních omítek, nejspíše na bázi cementového pojiva, nikoliv vápenného, z důvodu větší odolnosti vůči zvýšené vlhkosti, i přes fakt, že cementové malty mají horší difúzní vlastnosti. Zbylé zásahy jsou pouze vnějšími opatřeními. Tepelná izolace pod terénem není vytažena, nemění vzhled budovy, okapový chodník lze provést s velmi decentní povrchovou úpravou, těleso okapového chodníku navíc využívá pomocnou hydroizolaci pomocí jílových těsnících vrstev, která je doporučeným řešením pro památkově chráněné budovy.

Finální varianta č. 2 – klima suterénu: $\theta_i = 20,6^\circ\text{C}$, $\phi_i = 50\%$.

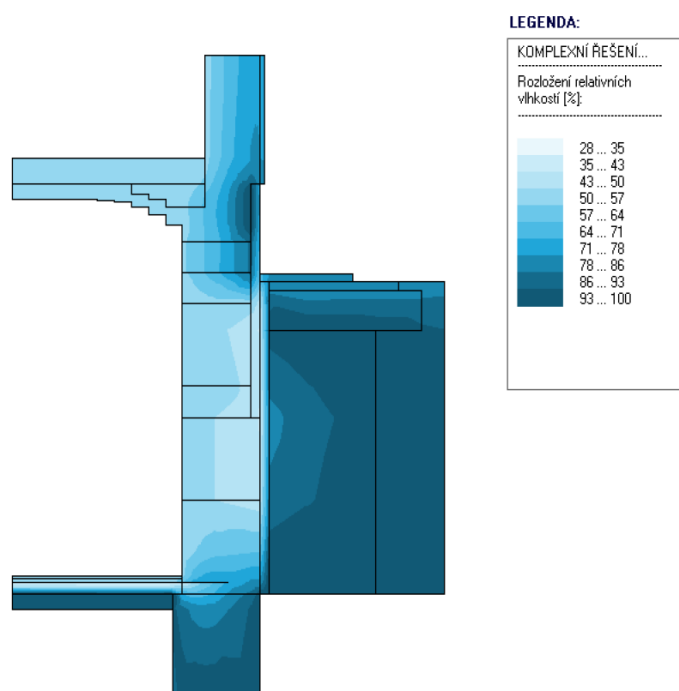
a) Pole teplot vypočtené vlhkostní bilance modelu



Zvýšením teploty v suterénu na 20°C se prohřeje všechny konstrukce, včetně 600 mm tlusté obvodové stěny, zvýšení teploty lze pozorovat také v přilehlé zemině. Studená část v nadzemní části v místě soklu je stále znatelná, ovšem takto velké ohřátí stěny bude mít vliv na polohu rosného bodu, který se nyní bude nacházet velmi blízko vnějšího povrchu stěny, pravděpodobně ve vrstvě soklového obkladu, kde případná kondenzace není již na škodu a velmi dobře se odsud vypaří.

Obrázek 64 - Grafický výstup modelu. pole teplot

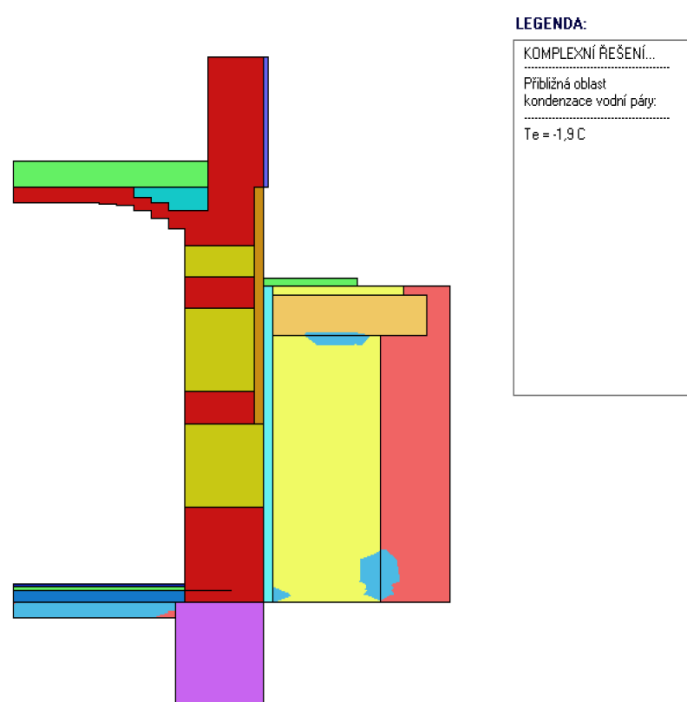
b) Relativní vlhkosti konstrukce



Obrázek 65 - Grafický výstup modelu - relativní vlhkosti

Relativní vlhkosti konstrukcí začínají již na hodnotě necelých 30 % relativních, po převodu na hmotností % vlhkosti se dostáváme na číslo 9 % hmotnostní vlhkosti. Tato hodnota je vzhledem ke skladbě konstrukce, umístění a vlastnostech použitých materiálů velmi přívětivá. V průměru se relativní vlhkost na povrchu vnitřní suterénní stěny pohybuje okolo 35 % a stejně tak do velké tloušťky.

c) Oblasti kondenzace vodní páry



Obrázek 66 - Grafický výstup modelu - oblasti kondenzace

Konstrukce je i během největšího ohrožení kondenzací vodní páry během studených zimních měsíců ochráněna.

Diskuse nad výsledky

Výsledky jsou uspokojivé po všech stránkách - jak při nevytápěném suterénu, tak především po temperaturaci prostředí na hodnotu pro obytné místnosti. Relativní vlhkosti nejsou na hodnotách, které bychom očekávali u novostaveb po vyschnutí jako ustálený stav vlhkosti, ovšem při zvážení okolností je hodnota relativní vlhkosti 9 % dostačující. Vlhkost ve velmi malé míře může nadále pronikat skrze tepelnou izolaci a vztlínáním z podloží skrze základový pás a suterénní stěnu. Prodění vzduchu a teplota v suterénu tuto vlhkost drží na dobré úrovni.

Toto sanační řešení bude zpracováno v technologickém postupu pro případnou realizaci na stavbě.

5.3.5 Technologický postup zvolené metody

Technologický postup realizace navržených venkovních technických a sanačních opatření na řešeném detailu je vypracován jako možná varianta zvolené posloupnosti prací, důraz je kladen na co nejmenší zásahy do původní konstrukce. TP viz příloha č. 3.

6 Doporučení pro další postup rekonstrukce objektu

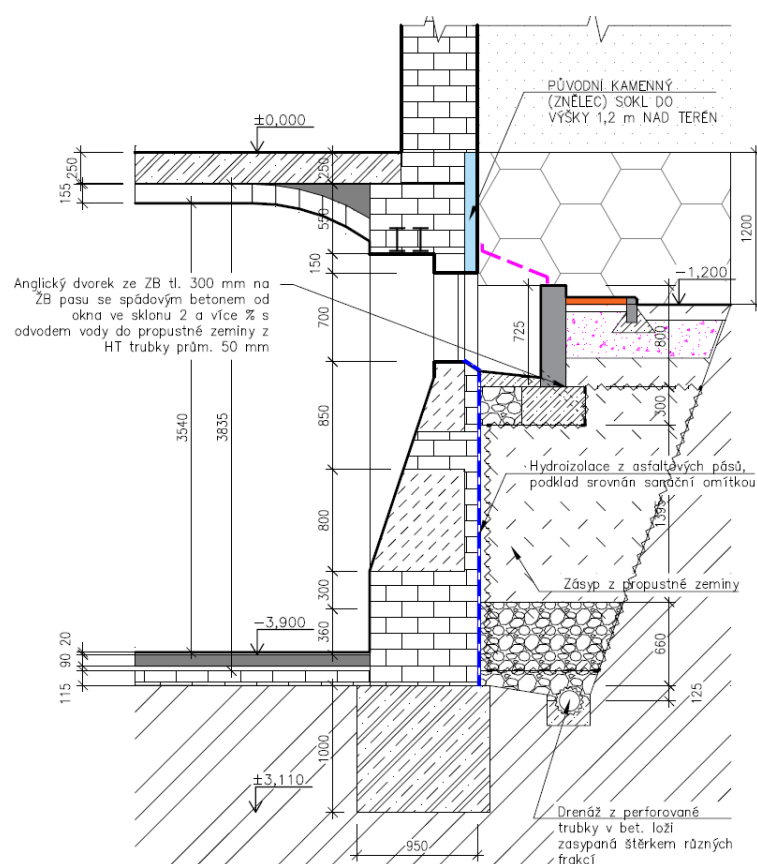
Objekt je při prvotním prohledání ve velmi špatném stavu a není na něm téměř nic, co bych nepotřebovalo generální opravdu a rekonstrukci - vše bylo popsáno ve stavebně technickém průzkumu, průzkumu vlhkosti atd. Po důkladném prozkoumání objektu se došlo k závěru, že kritickou oblastí stavby je nyní po rekonstrukci chybějící střechy spodní stavba. Do ní mnoho let soustavně zatékalo a nyní se projevují následky.

Po měření a vypracování modelů různých možných řešení sanace a rekonstrukce suterénu stavby bylo zjištěno, že problém s vlhkostí není zdaleka neřešitelný a že relativně malé zásahy jak technického rázu, tak čistě uživatelského, tím je myšleno změnou vnitřního klimatu, lze dosáhnout dobrých výsledků.

Doporučením pro začátek revitalizace této historické budovy je tedy zbavení se příčin vlhnutí konstrukcí. Masivní zatékání srážkové vody do stavby bylo již v nedávné minulosti z velké části vyřešeno kompletní výměnou střechy, včetně částí krovu, problémy se zemní vlhkostí a s dešťovou vodou působící přímo na spodní stavbu a přízemí budovy stále přetrvávají.

Za předpokladu, že se zvolí metoda aplikace vypracovaného souboru sanačních metod a opatření na stavbě, vyřeší se tento problém a bude možné pokračovat v rekonstrukci jiných částí a konstrukcí budovy. Problém spodní stavby byl řešen v jednom typickém detailu, který lze aplikovat řekněme na 90 % celého suterénu. Objekt má však ještě jeden často se vyskytující detail týkající se spodní stavby a tím je místo okenního prostupu stěnou v úrovni terénu nebo lehce pod ním. Pro tento detail bylo zpracováno doplňkové řešení, které lze použít pro vyřešení prostupu vlhkosti do konstrukce. (obr. č. 67) Nebyl vypracován vlhkostní model pro toto řešení, pro svou identičnost z hlediska skladeb konstrukcí a okrajových podmínek lze vycházet z výsledků již vypracovaného vlhkostního modelu.

Finální varianta č. 3 – suterénní okenní otvor, anglický dvorek



Obrázek 67 - Stavební řešení v místě sklepního okna

Obr. č. 67: Kombinace hydroizolačních, tepelně – izolačních opatření a úpravy okolí stavby pro vyřešení problému vnikání vlhkosti do konstrukce.

1. Okapový chodník důsledně řešící zamezení co největšího množství vsáknuté dešťové vody do drenážního tělesa pod ním.
2. Hluboká drenáž těsně nad úrovní HPV se štěrkovým “kufrem” obaleným netkanou geotextilií.
3. Svislá tepelná izolace v exteriéru tl. 100 mm z desek XPS
4. Anglický dvorek v místě okenního prostupu. Okolo okna se vybuduje opěrná zídka, která umožní volný přístup k oknu a

proudění vzduchu kolem něj. Dno prostoru bude vyspádované a odvodněné prostupem v opěrné zídce. Prostor bude opatřen bezpečnostní mříží. Okapový chodník pokračuje v zúžené podobě dál kolem objektu.

Druhým problémem, neřešeným v rámci práce, je situace okolo vodní nádrže pod vchodem do budovy v úrovni spodní stavby. Nad touto jámkou se po výšce celého objektu vyskytuje svislá trhlina procházející svislými a také vodorovnými konstrukcemi. Problém nejspíše spočívá v dlouhodobé podmáčenosti základů a vyvzlínání vody do vysoké úrovně, sednutí základových konstrukcí a tím způsobenému rozevření obvodových stěn.

Řešení tohoto statického problému by spočívalo ve vysušení jámky, zpevnění základů v inkriminovaném místě například pomocnými betonovými pasy spřaženými se stávajícími základy. Komplexní vyřešení by si však žádalo odborný posudek statika a návrh řešení oprav.

Po sanačních pracích týkající se spodní stavby se doporučuje pokračovat ve vysoušení zdiva a všech konstrukcí stavby zvyšováním vnitřní teploty, zbavení se vlhkých a degradovaných omítek. Pro rekonstrukci fasády je nejprve nutné vyměnit všechna okna a dveře. Následně je možné provést rekonstrukci a obnovu původní fasády, bude-li to možné, v případě zjištění, že stav fasády již neumožňuje její záchranu, byť částečnou, přejde se k variantě kompletního oklepaní původního souvrství fasády a realizace nové, v souladu s požadavky NPÚ.

Pro vnitřní práce je nezbytné vybudovat nové stropy v místech, která byla vlivem vlhkosti zničena, a opravit ty, které byly jen poškozeny. Po dokončení těchto stěžejních stavebních etap bude možné pokračovat v rekonstrukci běžným způsobem.

Závěr

Cílem práce bylo zdokumentovat stav objektu pomocí stavebně technického průzkumu a vypracovat metody řešení sanace a oprav s tím, že jednotlivé metody budou namodelovány v programu řešícím prostup tepla a vlhkosti v konstrukčních detailech.

Pro schopnost navrhovat a posuzovat jednotlivé sanační opatření je zapotřebí problematice hluboce rozumět a chápat fyzikální principy, které jsem se snažil vybrat a popsat v teoretické části práce. Motivací mé práce byl zájem porozumět tématu, dozvědět se další informace a rozšířit si poznatky z oblasti stavebnictví. Detailním vypracováním a řešením konkrétního problému stavby jsem získal povědomí o procesech spojených se vznikem a transportem vlhkosti v konstrukcích a o vlivu jednotlivých sanačních opatření a úprav.

Detailním pochopením problematiky sanace lze předejít mnoha neodborným pracem na objektech zasažených negativními vlivy působení vlhkosti, které se ve velké míře stále provádějí, a je potřeba, aby zmíněné zásahy do staveb byly pod kontrolou zkušeného člověka v tomto odvětví stavebnictví.

Věřím, že práce může sloužit jako podklad pro reálné uskutečnění kompletní rekonstrukce tohoto objektu stávajícími majiteli a je tedy přínosem do praxe.

Literatura

KNIŽNÍ ZDROJE

1. Doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc. a kolektiv. *STAVEBNÍ HMOTY*. Praha : autor neznámý, 2018.
2. Ing. Michael Balík, CSc., Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D. *Odvodnění domu, Anglické dvorky, drenáže, vzduchové dutiny*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2010.
3. kolektiv, Jaroslav Lebeda a. *Sanace zvlhlého zdiva a budov*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1998.
4. Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D. *Odstraňování vlhkosti, sanace vlhkého zdiva*. Praha : Grada publishing, a.s., 2013.
6. Jiří Hošek, Ludvík Losos. *Historické omítky. Průzkum, sanace, typologie*. Praha : Grada publishing, a.s., 2007.

INTERNETOVÉ ZDROJE

5. Národní památkový ústav. [Online] www.npu.cz.
7. Zbyněk Svoboda, Doc. Dr. Ing. Katedra konstrukcí pozemních staveb. [Online]
8. služba, Česká geologická. <http://www.geology.cz>.
9. Conrad.cz. *Conrad*. [Online] www.conrad.cz.
10. Wikipedie.cz. [Online]

NORMY

- ČSN 73 0540-1** - Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie
- ČSN 73 0540-2** – *Požadavky na tepelně technické vlastnosti budov*
- ČSN 73 0540-3** - Návrhové hodnoty veličin
- ČSN EN 12524** - Stavební materiály a výrobky - Tepelně vlhkostní vlastnosti - Tabulkové návrhové hodnoty
- ČSN 73 0600** - Ochrana staveb proti vodě. Hydroizolace. Základní ustanovení
- ČSN P 73 0610** - Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 – OBECNÝ POSTUP PŘI PROVÁDĚNÍ PRŮZKUMŮ OMÍTEK.....	25
OBRÁZEK 2 – PRINCIP PROBROURÁVÁNÍ ZDIVA	33
OBRÁZEK 3 - PODŘEZÁVÁNÍ ZDIVA	34
OBRÁZEK 4 - PRINCIP ELEKTROFYZIKÁLNÍ METODY SANACE - ELEKTROOSMÓZA	37
OBRÁZEK 5 – PŘÍKLADY VZDUCHOVÝCH DUTIN SVISLÝCH.....	38
OBRÁZEK 6 – UKÁZKA UŽITÍ JÍLOVÉ TĚSNÍCÍ VRSTVY	40
OBRÁZEK 7 – PŘÍKLAD PROVEDENÍ OKAPOVÉHO CHODNÍKU KOLEM OBJEKTU	41
OBRÁZEK 8 – SYSTÉM OBNAŽENÍ SUTERÉNNÍCH STĚN VYBUDOVÁNÍM OPĚRNÉ STĚNY OPODÁL	42
OBRÁZEK 9 - DRENÁŽ V NEPROPUSTNÉM PODLOŽÍ - BĚŽNÉ PROVEDENÍ	43
OBRÁZEK 10 – HLUBOKÁ DRENÁŽ – VODA STÉKÁ ZE SVAHU K OBJEKTU.....	43
OBRÁZEK 11 - UKÁZKA PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ PROGRAMU AREA EDU 2017	44
OBRÁZEK 12 – UKÁZKA GRAFICKÝCH VÝSTUPŮ Z PROGRAMU AREA EDU 2017.....	46
OBRÁZEK 13 – LOKALITA STAVBY NA MAPĚ, PANORAMATICKÁ FOTOGRAFIE BUDOVY	47
OBRÁZEK 14 - GEOLOGICKÁ A RADONOVÁ MAPA	49
OBRÁZEK 15 – VYZNAČENÍ UMÍSTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ STROPNÍCH KONSTRUKCÍ V OBJEKTU ...	51
OBRÁZEK 16 – ŘEZY JEDNOTLIVÝMI STROPNÍMI KONSTRUKCEMI.....	52
OBRÁZEK 17 – STŘECHA A KROV, STAV PO A PŘED REKONSTRUKCÍ	53
OBRÁZEK 18 – SVISLÁ TRHLINA V NOSNÉ STĚNĚ.....	55
OBRÁZEK 19 – CHYBĚJÍCÍ PŘEKLAD NAD PRŮCHODEM.....	55
OBRÁZEK 20 - DEGRADACE VENKOVNÍ FASÁDY	55
OBRÁZEK 21 – FOTOGRAFIE KAŽDÉHO ZE 4 DRUHŮ STROPNÍCH VARIANT V OBJEKTU.....	56
OBRÁZEK 22 - POHLED NA KROV	57
OBRÁZEK 23 – STAV VNITŘNÍCH OMÍTEK	57
OBRÁZEK 24A – SEVERNÍ A JIŽNÍ POHLED - PŘÍČINY VZNIKU VLHKOSTI NA FASÁDĚ.....	59

OBRÁZEK 25 – VÝCHODNÍ POHLED - PŘÍČINY VZNIKU VLHKOSTI NA FASÁDĚ	59
OBRÁZEK 26 - ZÁPADNÍ POHLED - PŘÍČINY VZNIKU VLHKOSTI NA FASÁDĚ	59
OBRÁZEK 27 - MĚŘIČ VLHKOSTI DŘEVA A STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	61
OBRÁZEK 28 – FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ NA STAVBĚ	62
OBRÁZEK 29 – POHLED NA STĚNU SUTERÉNU A 1.NP – POLOHA MĚŘENÍ	63
OBRÁZEK 30 – ZAZNAMENANÁ POLOHA JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ – PODLAHA	65
OBRÁZEK 31 – POHLED Z EXTERIÉRU NA VYZNAČENÉ BODY MĚŘENÍ	66
OBRÁZEK 32 - FOTOGRAFIE MÍSTA MĚŘENÍ, VÝSLEDEK MĚŘENÍ	69
OBRÁZEK 33 – DETAIL SKLADBY KONSTRUKCE V MÍSTĚ PŘÍČNÉHO ŘEZU ŘEŠENÉHO DETAILU	70
OBRÁZEK 34 – GRAFICKÝ VÝSTUP NEKALIBROVANÉHO MODELU	71
OBRÁZEK 35 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU ZADÁNÍ-GEOMETRIE A OKRAJOVÉ PODMÍNKY	73
OBRÁZEK 36 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU ZADÁNÍ-POLE TEPLIT	73
OBRÁZEK 37 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU ZADÁNÍ-RELATIVNÍ VLHKOSTI KCE.....	74
OBRÁZEK 38 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU ZADÁNÍ - OBLAST KONDENZACE	75
OBRÁZEK 39 – GRAFICKÝ VÝSTUP 1.ŘEŠENÍ – POLE TEPLIT	76
OBRÁZEK 40 – GRAFICKÝ VÝSTUP 1. ŘEŠENÍ – RELATIVNÍ VLHKOSTI	76
OBRÁZEK 41 – GRAFICKÝ VÝSTUP 1. ŘEŠENÍ – OBLAST KONDENZACE	77
OBRÁZEK 42 - HYDROIZOLACE SVISLÉ STĚNY V KONTAKTU SE ZEMINOU	78
OBRÁZEK 43 - ZADÁNÍ MODELU PRO VARIANTU SVISLÉ HYDROIZOLACE	78
OBRÁZEK 44 – POLE TEPLIT MODELU PRO VARIANTU SVISLÉ HYDROIZOLACE.....	79
OBRÁZEK 45 – RELATIVNÍ VLHKOSTI MODELU PRO VARIANTU SVISLÉ HYDROIZOLACE	79
OBRÁZEK 46 – OBLAST KONDENZACE MODELU PRO VARIANTU SVISLÉ HYDROIZOLACE	80
OBRÁZEK 47 – TEPELNÁ IZOLACE STĚNY POD TERÉNEM, DRENÁŽ.....	81
OBRÁZEK 48 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU 3. ŘEŠENÍ – TEPELNÁ IZOLACE SUTERÉNU	81
OBRÁZEK 49 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU 3.ŘEŠENÍ – POLE TEPLIT	82

OBRÁZEK 50 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU 3. ŘEŠENÍ – RELATIVNÍ VLHKOSTI	82
OBRÁZEK 51 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU 3. ŘEŠENÍ – OBLAST KONDENZACE	83
OBRÁZEK 52 – MĚLKÁ DRENÁŽ, JÍLOVÁ HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA, OKAPOVÝ CHODNÍK.....	84
OBRÁZEK 53 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU 4. ŘEŠENÍ – OBLASTI A OKRAJOVÉ PODMÍNKY	84
OBRÁZEK 54 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU – POLE TEPLIT	85
OBRÁZEK 55 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU – RELATIVNÍ VLHKOSTI	85
OBRÁZEK 56 -GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU – OBLASTI KONDENZACE.....	86
OBRÁZEK 57 – HYDROIZOLACE PODLAHY A INJEKTÁŽ STĚNY	87
OBRÁZEK 58 – KOMPLEXNÍ ŘEŠENÍ SANAČNÍCH OPATŘENÍ	89
OBRÁZEK 59 – GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU – OBLASTI A OKR. PODMÍNKY	90
OBRÁZEK 60 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU KOMPLEXNÍHO ŘEŠENÍ Č. 1 - POLE TEPLIT	91
OBRÁZEK 61 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU - SMĚR TEPELNÝCH TOKŮ KONSTRUKCÍ	91
OBRÁZEK 62 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU - RELATIVNÍ VLHKOSTI.....	92
OBRÁZEK 63 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU - OBLASTI KONDENZACE	92
OBRÁZEK 64 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU. POLE TEPLIT	93
OBRÁZEK 65 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU - RELATIVNÍ VLHKOSTI.....	94
OBRÁZEK 66 - GRAFICKÝ VÝSTUP MODELU - OBLASTI KONDENZACE	94
OBRÁZEK 67 - STAVEBNÍ ŘEŠENÍ V MÍSTĚ SKLEPNÍHO OKNA	97

Seznam tabulek

TABULKA 1 – ROVNOVÁŽNÉ HODNOTY VLHKOSTI MATERIÁLŮ DLE REL. VLHKOSTI VZDUCHU	5
TABULKA 2 – PÓROVITOST A NASÁKAVOST V HMOTNOSTNÍCH PROCENTECH.....	6
TABULKA 3 – °C ROSNÉHO BODU V ZÁVISLOSTI NA INT. TEPLOTĚ A REL. VLHKOSTI VZDUCHU.....	9
TABULKA 5 – TLAKY V MPA KRYSTALICKÝCH SOLÍ PŘI PROCESU HYDRATACE	19
TABULKA 4 – ZVĚTŠENÍ OBJEMU V % KRYSTALICKÝCH SOLÍ PŘI PROCESU HYDRATACE	20
TABULKA 6 – KLASIFIKACE VLHKOSTI ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ.....	28
TABULKA 7 – MĚŘENÉ HODNOTY HM. VLHKOSTÍ V BODECH VIZ. OBRÁZEK Č. 29.....	64
TABULKA 8 – MĚŘENÉ HODNOTY HM. VLHKOSTÍ V BODECH VIZ. OBR. Č. 30	65
TABULKA 9 - HODNOTY MĚŘENÍ NA STRANĚ EXTERIÉRU	66
TABULKA 10 – ZÁVISLOST HM. A REL. % VLHKOSTI MATERIÁLU – PÁLENÁ CIHLA	67
TABULKA 11 - ZÁVISLOST HM. A REL. % VLHKOSTI MATERIÁLU - ČEDIČ	68

Přílohy

Příloha č.1 – Rozbor omítek – autor: Národní památkový ústav



GENERÁLNÍ
ŘEDITELSTVÍ

57-15 jezdecká kasárna Most
průzkum omítek
podklad pro obnovu

PROTOKOL

TECHNOLOGICKÁ LABORATOŘ

<i>Zadavatel:</i>	Ing. Milan Machovec, Bohemias s. r. o.
<i>Váš dopis č. j. / ze dne:</i>	- / 3. 7. 2015
<i>Naše č. j.:</i>	NPÚ/310/53270/2015
<i>Vyřizuje / telefon:</i>	Mgr. Vladislava Krajčová/257 010 331
<i>Č. akce:</i>	57-15
<i>Evid. č. vzorku:</i>	216 a 217/57-15
<i>Odběr - lokalita:</i>	fasády domu č. p. 1283, býv. jezdecká kasárna, Most
<i>Popis a množství vzorku:</i>	2 vzorky omítek
<i>Požadovaná stanovení:</i>	průzkum omítek (salinita, rozbor, stratigrafie pov. úprav)



Obr. 1 Objekt bývalých jezdeckých kasáren, ulice ČSA č. p. 1283, Most, foto MIS

Národní památkový ústav, generální ředitelství | Valdštejnské nám. 162/3, 118 01 Praha 1 – Malá Strana
T +420 257 010 111 | F +420 257 010 168 | E epodatelna@npu.cz | DS 2cy8h6t | IČ 75032333 | DIČ CZ75032333

1. Popis vzorku, metodika

Zadavatelem byly dodány 2 soubory vzorků omítek z fasády jednoho z objektů bývalých jezdeckých kasáren v ulici Čs. armády, č. p. 1283, v Mostě. Zadavatel požadoval celkový průzkum vzorků – stanovení stupně zasolení, rozbor a popis omítek a stratigrafickou analýzu povrchových úprav. Požadováno bylo také stanovení stupně vlhkosti, to však nebylo možné vzhledem k době doručení a způsobu uchování vzorků během něj provést. Označení, popis a požadovaná stanovení jsou uvedena v tab. 1.

Tab. 1 Přehled vzorků se slovním popisem a požadovaným stanovením

Evidenční č. vzorku	Popis vzorku	Požadované stanovení
216/57-15	vzorek 1	celkový průzkum
217/57-15	vzorek 2	celkový průzkum

A Rozbor malt a omítek

Vzorky jsou pozorovány při různém zvětšení a posuzovány senzoricky. Dále jsou sledovány v průběhu všech etap průzkumu. Základní charakteristiky jsou hodnoceny metodou srovnání se standardy známého složení.

Stanovení podílu nerozpustného zbytku, síťová analýza nerozpustného zbytku

Z dezintegrovaných částí vzorků zkoumaných malt byl v 10% HCl rozpuštěn uhličitý podíl. Za předpokladu, že kamenivo neobsahuje uhličitany, je rozpustná část tvořena pouze uhličitany z pojiva malty. Údaje o zastoupení nerozpustných podílů jsou uvedeny v textu.

Nerozpustný zbytek (kamenivo) byl podroben síťové analýze s použitím sít o průměru oka 0,16; 0,25; 0,5; 1 a 2,5 mm. Na základě hmotnosti jednotlivých frakcí byly sestaveny grafy distribucí nerozpustného zbytku a fotodokumentace frakcí nerozpustného zbytku jednotlivých zkoumaných malt.

B Salinita

Stanovení množství vodorozpustných chloridů, síranů a dusičnanů bylo provedeno semikvantitativní selektivní analytickou metodou pomocí testu Merckoquant fy Merck. Stupně zasolení byly posouzeny v souladu s normou ČSN P 73 0610 (viz tab. 2).

Tab. 2 Stupně zasolení dle normy ČSN P 73 0610

Stupeň zasolení dle ČSN P 73 0610	Hmot. % chloridů	Hmot. % dusičnanů	Hmot. % síranů
nízký	pod 0,075	pod 0,1	pod 0,5
zvýšený	0,075 - 0,20	0,1 - 0,25	0,5 - 2,0
vysoký	0,20 - 0,5	0,25 - 0,5	2,0 - 5,0
velmi vysoký	nad 0,5	nad 0,5	nad 5

C Stratigrafie

Vzorky byly studovány a dokumentovány pod mikroskopem a vybrané části byly zality do pryskyřice EpoThin a vybroušeny. Pozorování vzorků bylo provedeno pomocí optického mikroskopu Leica DML v dopadajícím viditelném světle. Fotografie byly pořízeny HD kamerou Leica HD.

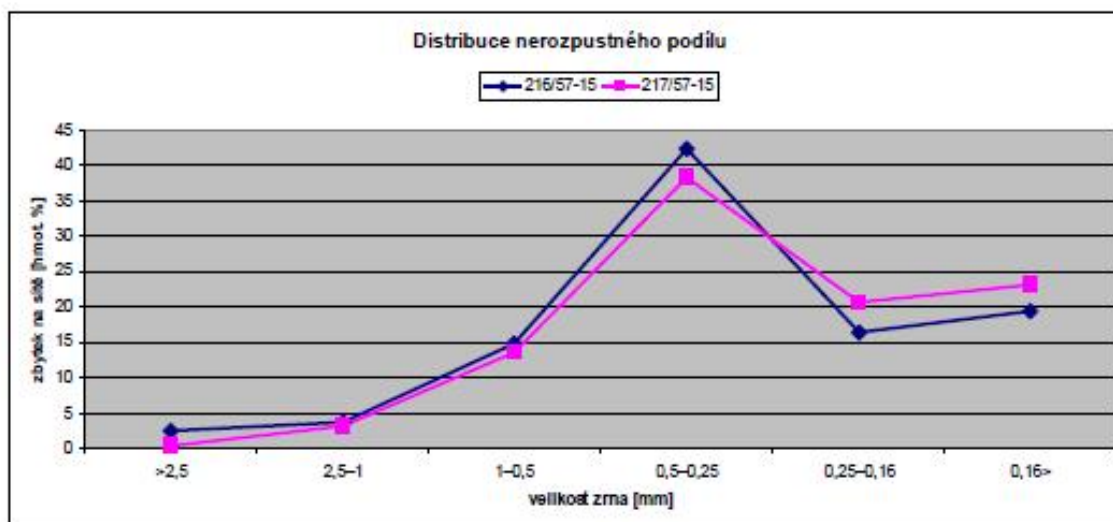
Vzorek 217/57-15



Obr. 4 a obr. 5 Stav dodaného vzorku 217/57-15 (vlevo) a odběrové místo (vpravo; foto zadavatel)

Matrice vzorku je velmi světlá, s jemnozrnným kamenivem a ojedinělými úlomky cihel ze zdiva. Omítka byla pevná a soudržná, i když méně než u vzorku 216. Kusové části vzorku jsou menší, se zaoblenějšími hranami, než u vzorku 216. Jedná se o vápennou omítku se vzdušným vápnem jako pojivem. Kamenivo tvoří 78,57 hmot. %, frakce jsou d/D 0/4 mm.

Distribuce nerozpuštěného podílu, barevnost frakcí kameniva



Graf 1 Distribuce nerozpuštěného podílu vzorků akce 57-15

Z grafu 1 výše je patrné, že kamenivo obou vzorků je jemnější, s většinou zrn o velikosti menší než 0,5 mm. Největší podíl, kolem 40 hmot. %, náleží zrnům frakce 0,25–0,5 mm. Jílová složka dosahuje cca 20–25 hmot. %. Zrna větší než 2,5 mm se vyskytují pouze ojediněle. Průběh křivek obou vzorků je shodný.



Obr. 6 Barevnost frakcí kameniva vzorků akce 57-15

Z obrázku zachycujícího barevnost jednotlivých frakcí rovněž vyniká značná podobnost obou vzorků. Celková barevnost omítky je pak určena barevností jílové, nejjemnější frakce (ozn. „zbytek“). U zrn větších frakcí převládá průhledný křemen (lehce obarvený jílem), méně jsou zastoupeny barevná zrna – růžová, modrošedá, u vzorku 216 se vyskytují také úlomky cihlové a dále černé úlomky blíže neurčeného druhu kameniva (patrně živce).

Souhrnně lze říci, že pro přípravu obou omítek byl použit stejný, zřejmě lokální zdroj kameniva, z něhož mohla být, zřejmě kvůli požadované struktuře a vzhledu výsledné omítky, vytržena větší zrna kameniva. Obsah kameniva v omítce byl velmi výrazný, tvořil kolem 80 hmot. %.

B Stanovení stupně zasolení

Tab. 3 Výsledky stanovení stupně zasolení

Vzorek	Hmot. % chloridů	Hmot. % dusičnanů	Hmot. % síranů
216/57-15	pod 0,075 nízký	pod 0,1 nízký	0,5 nízký
217/57-15	pod 0,075 nízký	pod 0,1 nízký	0,62 zvýšený

Diskuse:

Vzorek 216/57-15 je jen nepatrně zasolen sírany (hodnoty u dolní hranice zvýšeného stupně), přítomnost jiných druhů solí nebyla prokázána.

Poškození fasádních omítek, viditelné na snímcích z odběrových míst, ale i z celkového snímku na obr. 1, tedy primárně nesouvisí se zvýšeným obsahem solí, i když ani ten nelze při odběru více vzorků z jiných míst vyloučit. Poškození a s ním spojené potenciální vyšší zasolení je spíše způsobeno zatékáním a stékáním vody po fasádě vlivem nefunkčních okapů a svodů vody a havarijního stavu střech (viz obr. 1). Pro trvanlivost opravy lze oprávněně upozornit na potřebu zevrubnějšího průzkumu stavu zdiva, což nebylo součástí zadání.

3. Závěr

Zadavatelem byly dodány dva soubory vzorků omítek (kusové úlomky + drť) z fasády objektu č. p. 1283 v areálu bývalých jezdeckých kasáren v Mostě. Požadován byl celkový průzkum omítek, zahrnující rozbor a popis omítek, stanovení stupně jejich zasolení a stratigrafickou analýzu povrchových úprav. K požadovanému určení míry zavlhčení vzorků nebylo možné přistoupit vzhledem k nevhodnému uložení vzorků do obalu při transportu.

Oba vzorky omítek byly pevné a soudržné, se světlou matricí, s převahou kameniva (cca 80 hmot. %) nad pojivem (vápenné). Jedná se o vápenné omítky se vzdušným vápnem jako pojivem. Kamenivo je jemnozrnné, s převahou zrn o velikosti 0,25–0,5 mm (cca 40 hmot. %); jílová složka se pohybuje v rozmezí 20–25 hmot. %. Využit byl zřejmě lokální zdroj kameniva a kamenivo mohlo být pro přípravu omítkové malty vytříděno a zbaveno kameniva větších frakcí.

Z hlediska zasolení je stav vzorků výborný, zjištěny byly jen u jednoho pouze sírany v mírně zvýšené míře. Nicméně lze na fotodokumentaci vidět poškození omítek zatékáním a stékáním vody po fasádě, z toho důvodu nelze závěry této analýzy vztáhnout na celý objekt. Lze velmi doporučit zevrubnější průzkum stavu nejen omítek, ale i zdiva, z hlediska vlhkosti a zasolení a jeho možných dalších příčin.

Výsledky stratigrafické analýzy ukázaly, že oba vzorky byly v minulosti pohledově pojednávány výlučně ve žlutookrové barvě, převážně ve formě nátěrů či jejich souvrství. Avšak nejstarší pohledová úprava, rovněž žlutookrová, vzorku 217 je provedena formou ve hmotě probarvené omítky. Zda byla probarvenou omítkou provedena také nejstarší úprava vzorku 216 nelze říci, tato nejstarší pohledová vrstva se dochovala pouze ve formě velmi drobných fragmentů.

Při obnově objektu je velmi žádoucí vycházet ze zde uvedených výsledků analýz, zejména při přípravě malt pro obnovu omítek a následného barevného pojednání. Je však důležité také tyto původní materiály a prvky v co největší možné míře zachovat i nadále, neboť zvyšují památkovou hodnotu objektu a jsou jedinečných zdrojem informací o jeho historii.

V Praze dne 16. 9. 2015

Mgr. Vladislava Krajčová

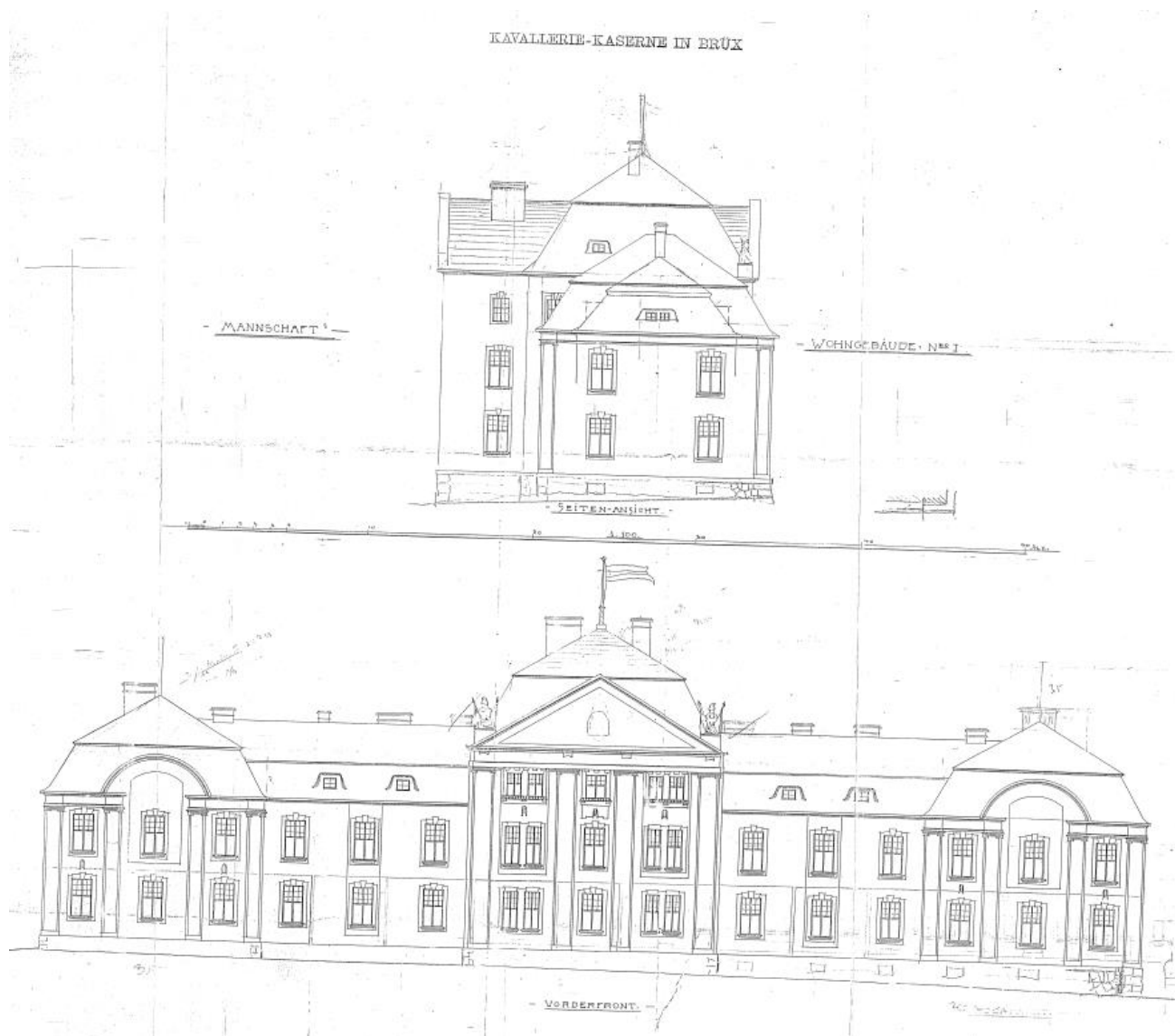
Ing. Dagmar Michoinová, Ph. D.
vedoucí laboratoře

Pavel Jerie
vedoucí odboru péče o památkový fond

Rozdělovník:

1. zadavatel prací
2. NPÚ ÚOP v Ústí nad Labem

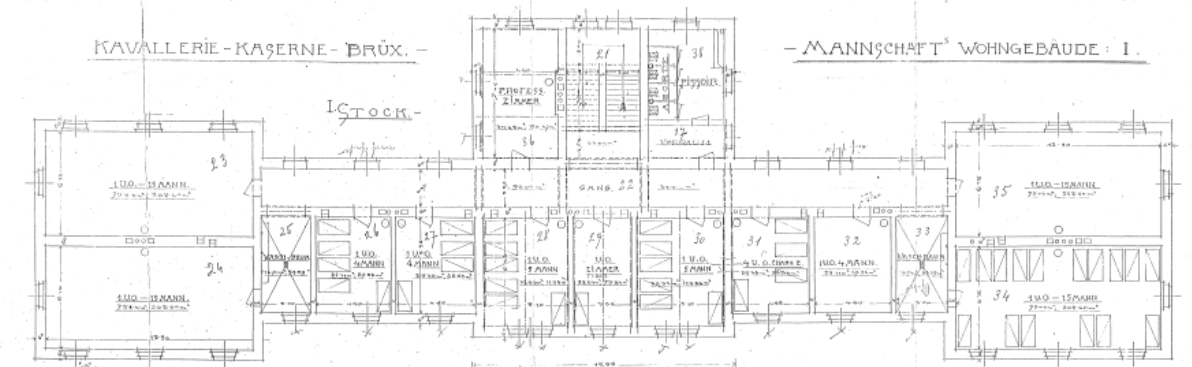
Příloha č. 2 – původní technická dokumentace stavby



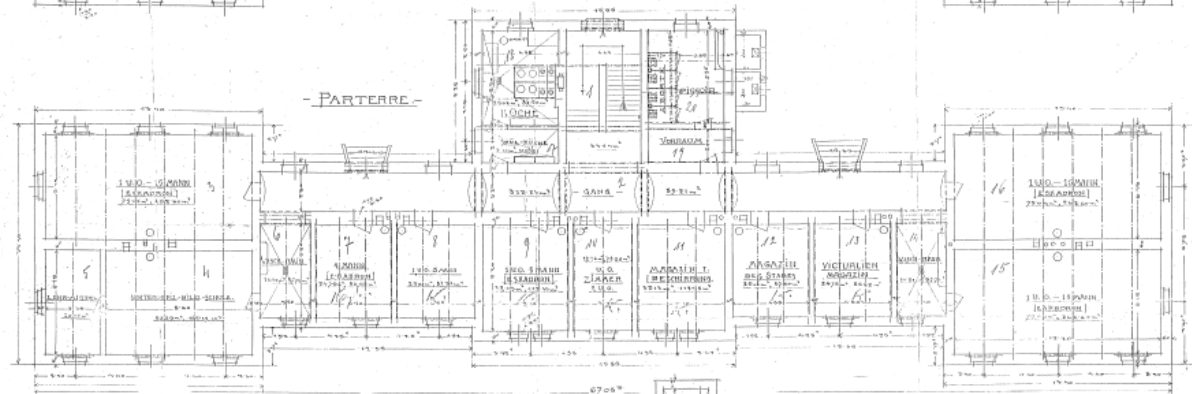
KAVALERIE-KASERNE - BRÜX. -

- MANNSCHAFTS WOHNGEBÄUDE : I.

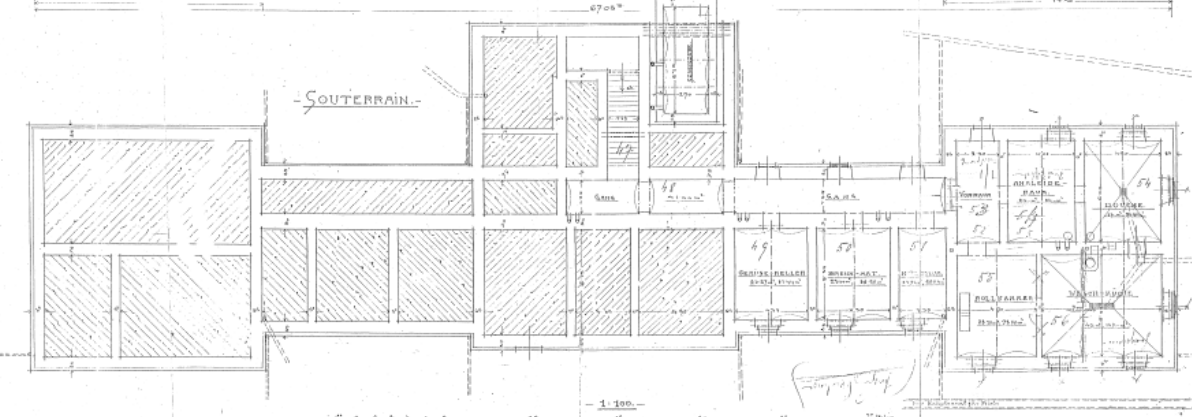
1. STOCK -



- PARTERRE -



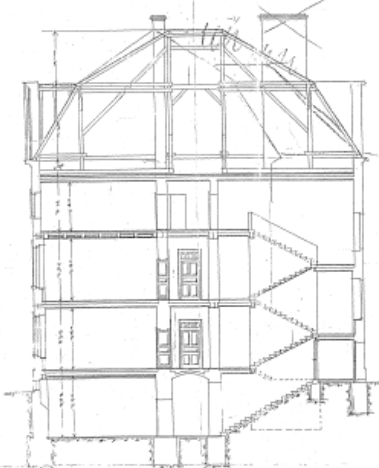
- SOUTERRAIN -



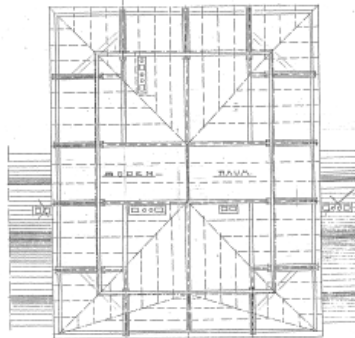
1:100

KAVALERIE-KASERNE IN BRUX

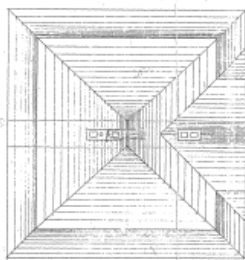
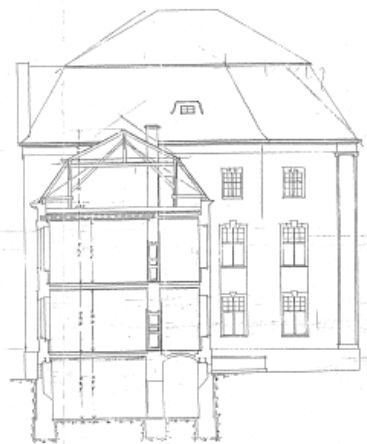
- MANNSCHAFTS-WOHNGEBÄUDE N^o I. -



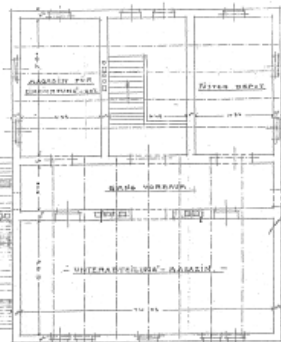
- Profil A-B -



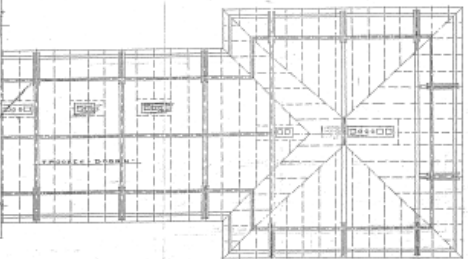
- Profil C-D -



- Profil C-D -



- Profil E-F -



- Profil G-H -



- Profil I-J -

Příloha č. 3 – Technologický postup

1 Identifikační údaje stavby

Účel stavby: Sanace a venkovní opatření proti vnikání vlhkosti do konstrukce

Místo stavby: Bývalý areál kasáren, Most

Charakter stavby: rekonstrukce a sanace

Popis stavby

Jedná se o zděnou historickou budovu z let 1906 až 1908 postavenou v secesním slohu. Budova sloužila jako ubytovna mužstva, objekt je součástí zchátralých jezdeckých kasáren.

2 Vymezení předmětu řešení

Předmětem pracovního a technického postupu prací zpracovaného v tomto dokumentu je realizace série sanačních opatření spodní stavby objektu. Suterén je do výšky 2,5m pod úroveň terénu a vniká do něj z různých příčin voda a vlhkost. Účelem opatření je eliminovat zdroje vody v konstrukcích a pomoci k přirozenému vysušení konstrukcí.

Předmětem zpracovaného technologického postupu je sanace spodní stavby objektu a venkovní opatření proti vtékání a zatékání srážkové vody do země v těsné blízkosti objektu

V rámci TP bude realizováno obkopání spodní stavby objektu, začištění a vyspravení vnějšího povrchu stěny. Realizace tepelné izolace pomocí desek XPS. Následně bude provedena drenáž, tj. uložení drenážní trubky pro odvod zasáknuté vody, vytvoření propustné vrstvy z hutněného štěrku. Dále bude realizováno jílové těsnění po obvodě stavby, na tomto těsnění se provede souvrství okapového chodníku.

3 Skladby konstrukcí po sanačních pracích

St. Lucia - budova mužstva kasárna v Mostě

OZN.	SKLADBY OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ	tl. (mm)
------	---------------------------	-------------

OP01 Suterénní stěna - podzemní část

• tepelně izolační desky z extrudovaného polystyrenu lepených přímo na očištěnou stěnu pomocí stavebního lepidla, kotvený ke stěně pomocí fasádních zatlučáků hmoždinek.	100
• smíšené cihelno-kamenné původní zdívko	800
• vnitřní sanační cementová omítka, štuk, malba	25
tl. celk. [mm]	925

OP02 Suterénní stěna - nadzemní (soklová) část

• původní kamenný obklad soklu do výšky cca 1 m nad okolní terén	100
• smíšené cihelno-kamenné původní zdívko	700
• vnitřní sanační cementová omítka, štuk, malba	25
tl. celk. [mm]	825

OP03 Obvodová stěna

• sanační historická vapenná omítka	20
• cihelné zdívko	600
• jádrová vápenocementová omítka + štuk	15
tl. celk. [mm]	635

P1 PODLAHA SUTERÉNU

• skvárobeton	cca	100
• cihly klasického formátu kladené na stojato na mv maltu		100
• vyrovnávací betonová mazanina		20
• asfaltový lak		0
• asfaltový pás natavený na podklad		4
• tepelně izolační desky EPS 100		100
• separační asfaltový papír		1
• betonová mazina vztužená sítí kari 100 x 100 x 6		50
• dlažba klinker lepená na flexi lepidlo		20
tl. celk. [mm]		395

4 Zásady manipulace, dopravy a skladování

Doprava na stavbu je zajištěna stávající přístupovou komunikací bez omezení. Veškerý materiál bude možno složit na pozemku stavby přímo z nákladního auta pomocí hydraulické ruky nebo ručně. Sklady materiálů budou uvnitř budovy a vně. Manipulace probíhá ručně.

5 Metody kontroly kvality materiálu

Výrobci jednotlivých komponentů vykonávají v průběhu výroby ve vlastních laboratořích výrobně kontrolní zkoušky, kterými ověřují kvalitu vstupních surovin a hotových výrobků podle příslušných státních a podnikových norem, resp. technických předpisů. Výsledky zkoušek jsou podkladem pro vystavení dokladu o kvalitě každé dodávky. Systémy řízení kvality jednotlivých výrobců byly v souvislosti s jejich certifikací prověřeny autorizovanou institucí.

Při přebírání výrobků na stavbě se provede vizuální kontrola, zda nedošlo k poškození originálních obalů, navlhnutí nebo k jinému mechanickému poškození. Dále se provede namátková kontrola rozměrů, případně množství v balení. Jestliže bude při namátkové kontrole odhalena jakákoliv vada, je nutno překontrolovat každý kus dodávky.

6 Připravenost pracoviště

Staveniště vyžaduje odklizení nepořádku v okolí stavby, oplocení v místech výkopů.

7 Struktura pracovní čety

- Vedoucí čety organizuje a řídí práci celého kolektivu, zodpovídá za kvalitu prováděných prací a za bezpečnost při práci.
- 2 až 4 zedníci – lepení desek XPS na stěnu
- 3 pomocní dělníci - zajišťují přísun materiálu a ostatní méně kvalifikované práce.
- Odborný stavební dozor najatý investorem pro kontrolu kvality a správnosti provedení.

Bezprostřední podmínky pro práci:

Může se pracovat za minimální teploty +5°C.

8 Stroje a přístroje, pracovní pomůcky

Ruční nářadí

Běžné zednické nářadí: zednická lžíce, metr, vodováha, natahovák se zuby, zednické kladívko, kožené rukavice, ruční pila na polystyren, vrtací a sekací kladivo, vědra, kolečka, lámací nože.

Mechanizace

Rypadlo-nakladač

9 Technologický postup

a) Sanační opatření exteriérní strany suterénní stěny

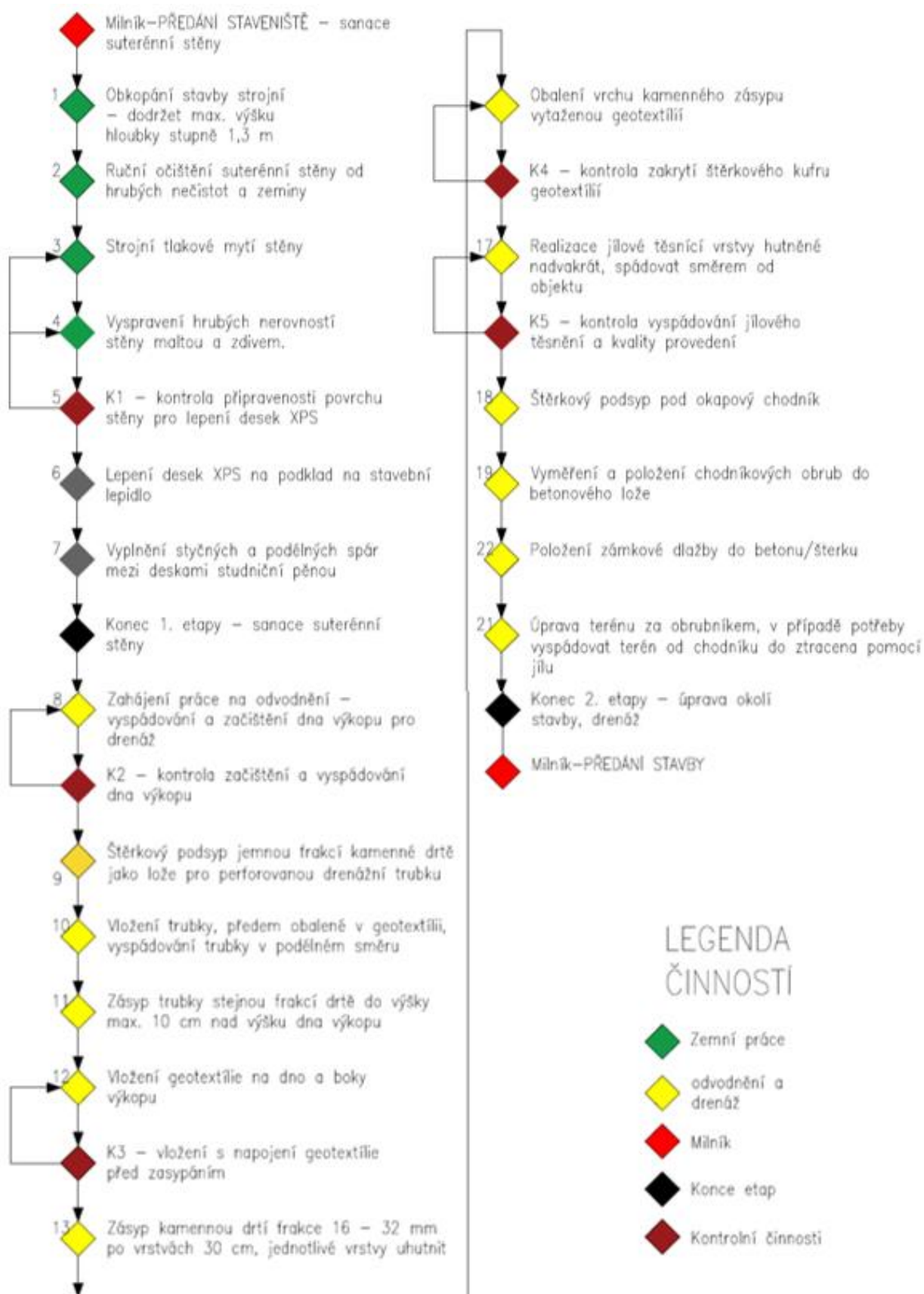
1. Příprava staveniště – odklizení nepořádku v okolí stavby, zajištění staveniště proti vniknutí cizích osob.
2. Strojně obkopat spodní stavbu objektu až do výšky horní hrany základového pásu. Výkop bude hlubší než 1,3 m, bude nutno svahovat výkop směrem od objektu nebo výkop rozdělit na 2 výškové úrovně s odskočením výkopu, kde žádná z výškových úrovní nesmí překročit výšku 1,3 m.
3. Ruční očištění suterénní stěny od zeminy a bláta, nejprve je nutné odstranit velké kusy nečistot.
4. Strojní tlakové mytí suterénní stěny, musí se odstranit veškerá nečistota a nepevné části malty, kameniva a zdiva.
5. V případě výskytu velkých dutin, mezer a prohlubní na povrchu omyté stěny je zapotřebí tyto nesourodnosti buď dozdíť nebo zaházet maltou tak, aby bylo možné kvalitně nalepit desky XPS.
6. Lepení desek na připravený podklad na buchty lepidla, každou desku opatřit lepícím tmelem po celém obvodu desky.
7. Vypěnění spár mezi jednotlivými deskami studniční pěnou, mezi nimi nesmí být mezery.

b) Drenáž

1. Ruční výkop, vyspádování a začištění podloží pro lože drenážní perforované trubky pro odvod vody.
2. Štěrkový podsyp jemnou frakcí štěrku do vykopané rýhy pro drenážní trubku.

3. Vložení trubky obalené geotextilií a zасыпání štěrkem stejné frakce, výška zасыпу max. 10 cm nad výšku dna výkopu, tj. nad horní hranu základového pasu objektu.
4. Vložení geotextilie na dno a boky výkopu, příprava pro vytvoření štěrkového kufru. Geotextilie musí být napojena vždy s přesahem 20 cm přes sebe a vždy bude spoj prováděn kolmo na stěnu objektu. Geotextilie bude vytažena 1 m nad výšku budoucího terénu na obou stranách výkopu.
5. Zасып štěrkem frakce 16-32 po vrstvách 30 cm. Jednotlivé vrstvy budou strojně hutněny na požadovanou hodnotu zhutnění.
6. Po dosažení požadované výšky zасыпу a zhutnění poslední vrstvy se vrstva štěrku obalí shora vytaženou geotextilií.
7. Po vrstvách se začnou navážet a hutnit jílové vrstvy. Celková výška jílového těsnění těsně u objektu bude minimálně 300 mm a šířka jílového tělesa bude min. 1,5 m od stěny objektu. Jílové lože bude vyspádované směrem od objektu pod sklonem min. 5 %.
8. Realizace štěrkového podsypu včetně hutnění pod okapový chodník, frakce štěrku 16/32.
9. Vyměření a provedení chodníkových obrubníků do betonového lože podél celé podsklepené části objektu.
10. Štěrkový podsyp pod zámkovou dlažbu, pokládka zámkové dlažby.
11. Terén za obrubou bude v případě potřeby vyspádován od objektu pomocí vrstvy jílu do ztracena od objektu a následně zavezen vrstvou hlíny.

10 Postupový diagram



11 Jakost provedení

Jednotlivé činnosti budou kontrolovány průběžně během celé realizace díla. Jsou stanoveny kontrolní dny pro vybrané činnosti, na základě schválení způsobu provedení stěžejních prací bude možné pokračovat s pracemi dále. Vybrané práce nutné ke schválení jsou:

- K1 – připravenost podkladu pro lepení desek XPS na stěnu.
- K2 – kontrola začištění a vyspádování zeminy na dně výkopu, lože a zásyp pro drenážní trubku
- K3 – vložení a napojení geotextilie před zásypy
- K4 – zakrytí štěrkového kufru geotextilií.
- K5 – kontrola spádu jílového těsnění a kvality jeho provedení

12 BOZ a PO

Řídí se zákonem č. 309/2006 Sb., nařízením vlády č. 591/2006 Sb. a vyhláškou č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb.

Pracovní čtyři musí být proškolené odborným pracovníkem pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Všechny pracovní a ochranné pomůcky pro práci musí být připravené před započítím prací, je nutné udržovat pořádek na skládce materiálu a v jejím okolí, dodržovat předpisy bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Materiál musí být uložen tak, aby se dal ručně odebírat a dalo se kolem něj chodit.

Pracovníci jsou dále povinni při provádění stavebních prací:

Dodržovat technologické nebo pracovní postupy, návody, pravidla a pokyny, obsluhovat stroje a zařízení a používat nářadí a pomůcky, které jim byly pro jejich práci určeny.

Provádět práci na určeném pracovišti, ze kterého se nesmí vzdálit bez souhlasu odpovědného pracovníka, kromě naléhavých případů.

Po celou dobu výstavby budovy bude na staveništi zajištěn odborný stavební dozor. Pokud stavební dozor, případně bezpečnostní technik odhalí nedodržování těchto podmínek, budou pracovníkům, kteří podmínky nedodržují, uděleny finanční sankce.

13 Ekologie – vliv na životní prostředí, nakládání s odpady

Všechny materiály jsou vyrobeny z ekologicky nezávadných přírodních surovin. Jsou plně recyklovatelné a ani jako odpad nezatěžují životní prostředí.